

MESG
MESTRADO EM ENGENHARIA
DE SERVIÇOS E GESTÃO

**Análise de Simulação de um Sistema de Supressão
de Incêndios Florestais**

Abílio Carlos Pereira Pacheco

Dissertação

Orientador na FEUP e no INESC Porto: Prof. João Claro



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

2011-07-21

Este trabalho é financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Factores de Competitividade – COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projecto MIT/FSE/0064/2009.

à minha mãe

«Se fosse fácil não era para nós»

Lema do GIPS

Resumo

Ao longo de 2010, das 7462 ocorrências a que respondeu o dispositivo de combate a incêndios florestais afecto ao distrito do Porto, $\frac{1}{4}$ tiveram origem em reacendimentos ou em falsos alarmes; para os quais foram mobilizados 178 meios aéreos e mais de duas mil equipas de combate; com um custo directo superior a cento e sessenta mil euros.

Em particular e durante o período crítico, de 85 em 85 minutos em toda a roda do dia, o empenhamento de meios em falsos alarmes, debilitou a capacidade de resposta, perigou a vida dos combatentes e contribuiu significativamente para as perdas de valor em bens e serviços, gerados nas áreas ardidas.

No decurso deste trabalho, procurámos compreender melhor estes dois fenómenos. Quisemos verificar se existia evidência de que em dias com mais ignições, os meios de combate são compelidos a abandonar prematuramente as operações de rescaldo, originando mais reacendimentos. Compreender o seu impacto, em conjunto com os falsos alertas, nos recursos de supressão disponíveis. E explorar a relação entre o limiar de colapso (nível de recursos mínimo) e a variação do número de ignições diárias, que é significativa, de ano para ano.

Com esse desiderato, fizemos uma análise exploratória de onde resultou o desenho de um sistema de supressão muito simples, que depois foi modelado em simulação.

Os dados disponíveis permitiram concluir que 10% de todos os incêndios foram reacendimentos, em gerações sucessivas; que resultaram de apenas 4% dos incêndios primários; e na sequência de acções de rescaldo deficiente, principalmente em dias com mais ignições. Com o modelo de simulação, encontrámos indícios de que o seu impacto não é menosprezável, principalmente se combinado com o excessivo número de falsos alarmes.

Em sentido contrário, a conclusão preliminar, de que o impacto da variação do número de ocorrências diárias no limiar de colapso parece ser linear, facilita o planeamento; e foram encontradas evidências que apontam para a sua convergência, com o melhor equilíbrio entre o investimento em supressão e a perda de bens e serviços na área ardida.

Finalmente e sem que o procurássemos, constatámos que a taxa de ocupação dos recursos disponíveis, é tendencialmente inferior a 20%, confirmando os valores esperados para serviços de emergência.

Simulation Analysis of a Wildland Fire Suppression System

Abstract

In the year 2010 the Porto district forest fire department had 7462 incidents and $\frac{1}{4}$ of those were rekindles or false alarms; 178 aerial resources as well as more than two thousand firefighting squads were involved reaching a direct cost of over one hundred and sixty thousand euros.

During the most critical period, every 85 minutes along the day, the commitment of resources in false alarms undermined the response capability, risking lives of fire fighters and contributing strongly to the value losses in the burned areas.

Throughout this investigation, we sought to reach a better understanding of these phenomena. We wanted to verify if there was evidence that in the days with more ignitions, the firefighters were compelled to abandon prematurely the fire mop up operations, thus promoting more rekindles. We also looked to understand its impact, along with the effect of fire false alarms, on the available resources. Finally, we explored the relation between the minimal resources level and the variation, which is significant, of the daily ignitions number.

To achieve this objective, we developed a very simple suppression system, which was then implemented in a simulation model.

Available data allowed us to conclude that 10% of all forest fires, in successive generations, were rekindles. These rekindles had their origin in only 4% of primary fires in consequence of deficient mop up actions, especially in days with a higher number of ignitions. With the simulation model, we found indications that its impact cannot be ignored, particularly if combined with the excessive number of false alarms.

On the other hand, the preliminary conclusion, that the impact of the fluctuation of daily occurrences on the minimal resources level needed appears to be linear, simplifies planning; evidence was also found of its convergence, with the best trade-off between firefighting investment and loss of goods and services on the affected area.

Finally and without searching for it, we found that the utilization rate of available resources tends to be less than 20%, confirming the expected values for emergency services.

Agradecimentos

Quero agradecer sentidamente ao meu orientador, o Professor João Claro, cuja sabedoria, experiência, rigor e responsabilidade sem par, me guiaram ao longo deste trabalho.

Agradeço ao Eng.º Tiago Oliveira pela inspiração original que redundou neste trabalho, pelo notável apoio, encorajamento e disponibilidade ilimitada, e pelo papel fulcral nos contactos com a rede das pessoas mais envolvidas e empenhadas no combate aos incêndios florestais.

Agradeço também à equipa do Fire Engine no seu todo e em particular às instituições participantes no projecto: gPS, INESC Porto, ISA, MIT e UTAD.

Houve várias pessoas cujo contributo é imperioso salientar e a quem estou muito grato, com um destaque muito especial para,

- Eng.º Rui Almeida (Engenheiro Silvicultor, AFN);
- Coronel Teixeira Leite (CODIS, CDOS Porto);
- Dr. Alberto Costa (2º Comandante, CDOS Porto).

Salientando ainda pela disponibilidade, pelo entusiasmo e pela informação muito pertinente partilhada, as contribuições do Professor Paulo Fernandes (Investigador da UTAD), do Tenente-Coronel António Paixão (Comandante do GIPS), do João Bandeirinha (SFera Florestal), do Comandante José Morais (B.V. de Paredes), da Eng.ª Tânia Rodrigues Pereira (AFN), de Isidro Alves da Costa (Portucel) e do Comandante Elias (CODIS, CDOS Lisboa).

Filipe Catry (Catry et al. 2008; Catry et al. 2007; Catry et al. 2009) e Justin Podur (Podur and Wotton 2010; Podur and Martell 2007) são dois autores que devo referir, pelo facto de que não me conhecendo, não hesitaram em fornecer prontamente a informação que solicitei.

Saliento o ambiente vivido na equipa “Fire Engine” e agradeço em particular ao Ross Collins, cuja revisão da literatura (Collins 2011) foi em Março passado, um excelente ponto de partida. Devo ainda referir a FCT, que através do Programa MIT Portugal financiou este trabalho, o INESC Porto no seu todo, a UITT pelo excelente acolhimento e a excepcional camaradagem do Alípio da Torre, Catarina Maia, Daniel Delgado, Fayzur Rahman, Grasiela Almeida, José Coelho Rodrigues e da Vânia Lopes.

Agradeço por fim, a paciência, o carinho e o apoio que recebi ao longo dos anos das pessoas que me estão mais próximas: particularmente da Elza Pereira, a minha irmã única; dos meus tios, Vitorino Ferreira, Cidália Pereira e Manuel da Cunha Teixeira; da minha avó Aurora Coelho; do meu pai (nos bons últimos cinco anos); e entre os meus amigos, especificamente do Cândido Resende, João Fraga, Jorge Saro, Patrícia Linhares Eloy e do Jorge Almeida; com um lugar repleto de luz para a Joana Dias Antunes.

Termino com um agradecimento colectivo aos maravilhosos professores que tive, tanto em Matemática (FCUP), como no MESH (FEUP); E às minhas perpétuas colegas, ao longo dos três últimos semestres lectivos, Ana Belchior e Ana Rita Viana.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Os Incêndios Florestais.....	1
1.2	Incêndios Florestais em 2010	3
1.3	Falsos Alarmes, Reacendimentos e o Colapso.....	4
1.4	Incêndios Florestais no Distrito do Porto.....	5
1.5	Questões de Investigação e Método	6
1.6	Enquadramento do Trabalho de Investigação.....	8
1.7	Estrutura da Dissertação.....	8
2	Falsos Alertas e Reacendimentos	9
2.1	O Impacto dos Falsos Alertas	9
2.2	A Dinâmica dos Reacendimentos	11
3	Observação, Concepção e Desenho	14
3.1	Um Sistema de Supressão.....	14
3.2	Abordagens Alternativas	15
3.3	Desenho de um Modelo de Supressão	15
3.4	Chegadas de Novos Incêndios, Reacendimentos e Falsos Alertas	16
3.5	O Ataque Inicial, Ampliado e a Mobilização de Meios.....	18
3.6	Falsos Alarmes	21
3.7	Lógica de Controlo	21
3.8	Perdas de Valor, Custos e Emissões de CO ₂	22
3.9	Flexibilidade	24
4	Parametrização do Modelo de Simulação	26
4.1	Distribuição das Chegadas	26
4.2	Distribuição das Durações	27
4.3	O Ataque Inicial e o Ataque Ampliado.....	28
4.4	Os Meios Empenhados.....	29
4.5	Estimativa da Área Ardida.....	29
4.6	Validação do Modelo.....	31
5	Análise dos Resultados.....	32
6	Conclusões e Desenvolvimento Futuro	36
	Referências	38
	APÊNDICE A: Configuração do Modelo de Simulação (variáveis, expressões, etc.)	43
	APÊNDICE B: Outras Parametrizações.....	48
	APÊNDICE C: Dados Suplementares.....	51
	APÊNDICE D: Entidades Contactadas e Lista de Entrevistas	54
	ANEXO A: Informação Complementar.....	55
	ANEXO B: Conceitos mais usados	59

Índice de Ilustrações, Tabelas e Gráficos

ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 – <i>Causal-loop diagram of our contemporary wildland fire story</i> (Saveland 1998)	2
Ilustração 2 – Impacto dos FA e RCD nos recursos de supressão.	9
Ilustração 3 – Esquema do Sistema de Supressão de Incêndios Florestais desenhado.	14
Ilustração 4 – Modelação das “chegadas”.	18
Ilustração 5 – Modelação do Ataque Inicial e do Ataque Estendido.	19
Ilustração 6 – Modelação dos Falsos Alertas.	21
Ilustração 7 – Modelação dos falsos “Falsos Alarmes”.	21
Ilustração 8 – Implementação da lógica de controlo.	22
Ilustração 9 – Área Ardida, Perdas de Valor e Emissões de CO ₂	23
Ilustração 10 – Expressões.	23
Ilustração 11 – Variáveis.	25
Ilustração 12 – Novos Incêndios: Classe B, FDP e distribuição empírica (®Arena).....	49
Ilustração 13 – Reacendimentos: Classe B, $\sigma=0.71031$, $\mu=-2.4632$, LOGN(0.1096,0.08878)	49
Ilustração 14 – Falsos Alertas: Classe A, $\sigma=0.56161$, $\mu=-3.2709$, LOGN(0.04446,0.02707).	50
Ilustração 15 – Falsos Alertas: Classe B, $\sigma=0.51079$, $\mu=-3.2822$, LOGN(0.04278,0.02336).	50
Ilustração 16 – A Dinâmica global dos Sistemas Florestais.....	51
Ilustração 17 – Representação de três das quatro categorias de fogo florestal (ver glossário).	53
Ilustração 18 – Visita à nova fábrica de papel do gPS (Setúbal).....	54
Ilustração 19 – A <i>framework</i> de Martell.....	56
Ilustração 20 – Uma proposta de Oliveira (2011).	56

TABELAS

Tabela 1: Área Ardida (<i>ha</i>) em Incêndios Florestais, Dados AFN (2011g).....	1
Tabela 2: Número de ocorrências e área ardida ao longo do último decénio, no distrito do Porto; Para os dados nacionais, consultar a Tabela 6 (página 32).....	5
Tabela 3: Retrato de três gerações de Incêndios em números (Porto, 2010 e 2010/Fase Charlie).....	12
Tabela 4: Parâmetros essenciais do modelo.	26
Tabela 5: Correlação entre a duração do incêndio e a área ardida.	30
Tabela 6: Número de ocorrências e área ardida ao longo do último decénio (EP).	52
Tabela 7: Variação da Percentagem de FA na Nova Zelândia, EP a partir de (Tu 2002)	52
Tabela 8: Causas dos incêndios florestais investigados pela GNR em 2010 (AFN 2011f)	58

GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição distrital do número de ocorrências e da área ardida (AFN 2011f)	3
Gráfico 2 – Percentagem de Falsos Alertas (FA) no total das ocorrências em 2010.	3
Gráfico 3 – Peso dos Reacendimentos e Falsos Alarmes em dez anos de esforço de supressão	4
Gráfico 4 – Percentagem de ocorrências por fase, no distrito do Porto, em 2010.	5
Gráfico 5 – Número de FA, RCD e incêndios nascentes ao longo da Fase Charlie.....	6
Gráfico 6 – Evolução de FA e RCD em Portugal (valores absolutos, Gráfico 26, página 32)	10
Gráfico 7 – N.º de RCD's em função da distância temporal (dias) ao incêndio “pai”	12
Gráfico 8 – Ilustração de gerações sucessivas de reacendimentos (2010, Porto, Charlie).....	13
Gráfico 9 – Resposta positiva à questão de investigação [1].	13
Gráfico 10 – Mudança de Classe ao longo da Fase Charlie.	16
Gráfico 11 – “Princípio da estabilidade das Causas” aplicado às causas apuradas em 2010..	17
Gráfico 12 – NSPP em forma de “camelo” e em forma de “dromedário” (24h).	17
Gráfico 13 – Incêndios Nascentes, 2010, Fase Charlie, Porto	27
Gráfico 14 – Reacendimentos, 2010, Fase Charlie, Porto.....	27
Gráfico 15 – Novos Incêndios: Classe B (histograma com o n.º de ocorrências).	28
Gráfico 16 – Duração do ataque inicial e do ataque ampliado.....	29
Gráfico 17 – Os meios empenhados.	29
Gráfico 18 – <i>Fire Engine Teams</i> (usadas no decurso do mesmo dia)	31
Gráfico 19 – Descoberta do número de replicações a efectuar em cada simulação.	32
Gráfico 20 – Os dois cenários ponderados, com tempo de espera inferior a dez minutos.	33
Gráfico 21 – Tendências distintas, em cenários distintos?	33
Gráfico 22 – Limiar de Colapso.	34
Gráfico 23 – Taxa de utilização.....	35
Gráfico 24 – Falsos Alertas, 2010, Fase Charlie, Porto	48
Gráfico 25 – Falsos "Falsos Alarmes", 2010, Fase Charlie, Porto	48
Gráfico 26 – Evolução do número absoluto de FA e RCD ao longo da última década.	53
Gráfico 27 – Distribuição anual do número de ocorrências e área ardida (AFN 2011f).....	55
Gráfico 28 – Fire Occurrence & Burned Area in Portugal (Beighley and Hyde 2009)	55
Gráfico 29 – Número médio de ocorrências em dias meteorologicamente semelhantes.	57
Gráfico 30 – Área ardida em dias meteorologicamente semelhantes.....	57
Gráfico 31 – Correlação DSR Médio/Ocorrências, Porto 2010 (AFN 2011f)	58

Lista de Abreviaturas e Acrónimos

ABREVIATURAS

AFN-CDOS.p	Utilização conjunta dos dados da AFN cruzados com os do CDOS do Porto.
AA	Ataque ampliado ou combate estendido que ocorre quando o incêndio não é dominado durante o ataque inicial (IA).
ENT	Usado quando a fonte é uma das entrevistas realizadas durante o trabalho de campo; Consultar o Apêndice D.
EP	Elaboração própria, conteúdo da nossa autoria.
FA	Falso Alerta.
FAA	Falso alarme gerado num sistema de alarme, por exemplo por falhas na cablagem, defeitos no equipamento ou operação accidental.
FFA	Falso "Falso Alarme".
IA	Ataque inicial ou primeira intervenção.
IGN	Ignição.
MS	Modelo de simulação.
Novo Incêndio	O mesmo que "incêndio nascente".
RCD	Reacendimento.
SSIF	Sistema de supressão de incêndios florestais.

SIGLAS E ACRÓNIMOS

As siglas e acrónimos foram essencialmente baseados em (AFN 2011f; ISA 2005e).

AFN	Autoridade Florestal Nacional
ANPC	Autoridade Nacional de Protecção Civil
COS	Centro de Operações e Socorro
CDOS	Centro Distrital de Operações de Socorro
CNOS	Centro Nacional de Operações de Socorro
CODIS	Comandante Operacional Distrital (actual Coordenador)
DCIF	Dispositivo de combate a incêndios florestais
DECIF	Dispositivo Especial de Combate a Incêndios Florestais
ECIN	Equipa de Combate a Incêndios
ELAC	Equipa Logística de Apoio ao Combate
FCT	Fundação para a Ciência e a Tecnologia
GIPS	Grupo de Intervenção de Protecção e Socorro
FWI	Índice meteorológico de risco de incêndio (<i>Canadian Fire Weather index</i>) - ver em "conceitos"
DSR	Índice Meteorológico de Severidade Diário (<i>Daily Severity Rating</i>) - ver em "conceitos"
ISA	Instituto Superior de Agronomia
PNDFCI	Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios
SGIF	Sistema de Gestão de Informação de Fogos Florestais
SGIIF	Sistema de Gestão de Informação sobre Incêndios Florestais
UDF (AFN)	Unidade de Defesa da Floresta
ZIF	Zona de Intervenção Florestal

1 Introdução

O tema dos incêndios florestais é simultaneamente triste e apaixonante. Triste, porque a floresta é sinónimo de árvores, vida animal, sequestro de carbono, frescura, refúgio e silêncio, além do valor económico que representa (ISA 2005). Apaixonante, tanto pela complexidade das relações entre os sistemas subjacentes, social, cultural, económico, tecnológico e organizacional, como pela complexidade científica e matemática (Abraham 1987; Halmos 1968) do fenómeno em si. Uma manifestação concreta deste último aspecto e da fecundidade desta área é também o facto do número de ensaios científicos sobre este tema ter triplicado em anos recentes. De facto, no período 1994-2003, foram publicados mais de quatro mil em todo o mundo e Portugal acompanhou esse mesmo ritmo (Reis and Oliveira 2007). A literatura disponível é abundante e profunda, mas pelo facto de se tratarem diversos temas ao longo da dissertação, optou-se por dispersar o estado da arte, esperando conseguir um texto mais integrado e fluido.

1.1 Os Incêndios Florestais

Os espaços florestais ocupam 59% do território nacional (61% no continente) ou 5.518.961 hectares, dos quais, 64% ou 3.541.284 hectares se encontram arborizados (AFN/DNGF 2010). Sendo de propriedade essencialmente privada, contribuem para gerar 3,2% do PIB, 15 mil postos de trabalho directos, 145 mil postos de trabalho indirectos, 12% do PIB industrial e 11% das exportações, uma vez que suporta as indústrias da pasta e do papel, da cortiça, do aglomerado e do mobiliário. Excluindo os bens e serviços gerados indirectamente pela transformação industrial, em 2005, o valor da floresta portuguesa foi avaliado em 7.750 milhões de euros (ISA 2005).

Tabela 1: Área Ardida (ha) em Incêndios Florestais, Dados AFN (2011g)

Ano	Nº de Incêndios Florestais	Área Total	Área Média	Área do Maior Incêndio
2001	26.947	112.235	4,17	3.273
2002	26.576	124.473	4,68	4.847
2003	26.219	425.778	16,24	21.897
2004	22.165	130.057	5,87	12.807
2005	35.824	339.072	9,46	11.707
2006	20.444	76.050	3,72	5.590
2007	20.316	32.520	1,60	2.505
2008	14.930	17.463	1,17	622
2009	26.136	86.817	3,32	7.080
2010	22.026	132.241	6,00	5.066
Média Anual	24.158	147.671	5,62	7.539

Ao longo do decénio que terminou em 2005, além de vidas humanas, o flagelo dos incêndios florestais foi devastando este valor a uma razão de 2.7% ao ano, quando a média europeia foi inferior a 1% (Oliveira 2005; Reis and Oliveira 2007) e transformou Portugal no país com maior densidade de ignições, mesmo entre os estados do sul da Europa (Catry et al. 2008; Catry et al. 2007; Catry et al. 2009). Ainda em 2005, o governo português deu um importante primeiro passo (Oliveira 2005), com o *Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios: Um Presente para o Futuro* (ISA 2005). Pese embora a redução (ver Tabela 1)

para metade, desta depauperação de valor nos últimos cinco anos, ainda não se atingiram os objectivos traçados (AFN 2011f; ISA 2005) nem o PNDFCI (ISA 2005b) foi implementado na sua plenitude.

Analisar médias ou eventos típicos, não é suficiente, quando se incluem eventos raros, como o caso dos grandes incêndios. Estes eventos catastróficos têm distribuições com cauda longa, isto é, ocorrem mais frequentemente do que geralmente antecipado (Holmes, Huggett, and Westerling 2008). Mitigar o impacto ecológico e económico dos incêndios florestais, implica abraçar esta complexidade e coordenar os esforços de prevenção com os de supressão.

Reduzir o problema apenas à supressão, conduz a incêndios ainda mais devastadores. É bem conhecido o exemplo dos Estados Unidos, que conceberam um dispositivo de combate muito eficaz e durante anos a fio. A supressão indiscriminada de todos os fogos resultou em níveis elevadíssimos de densidade das florestas e de acumulação de combustível, o que por sua vez levou à ocorrência de incêndios maiores e com um impacto de devastação nunca antes verificado, consumindo árvores que anteriormente teriam sobrevivido a pequenos incêndios que não chegaram a ocorrer (Conard and Hilbruner 2003; Sterman 2006).

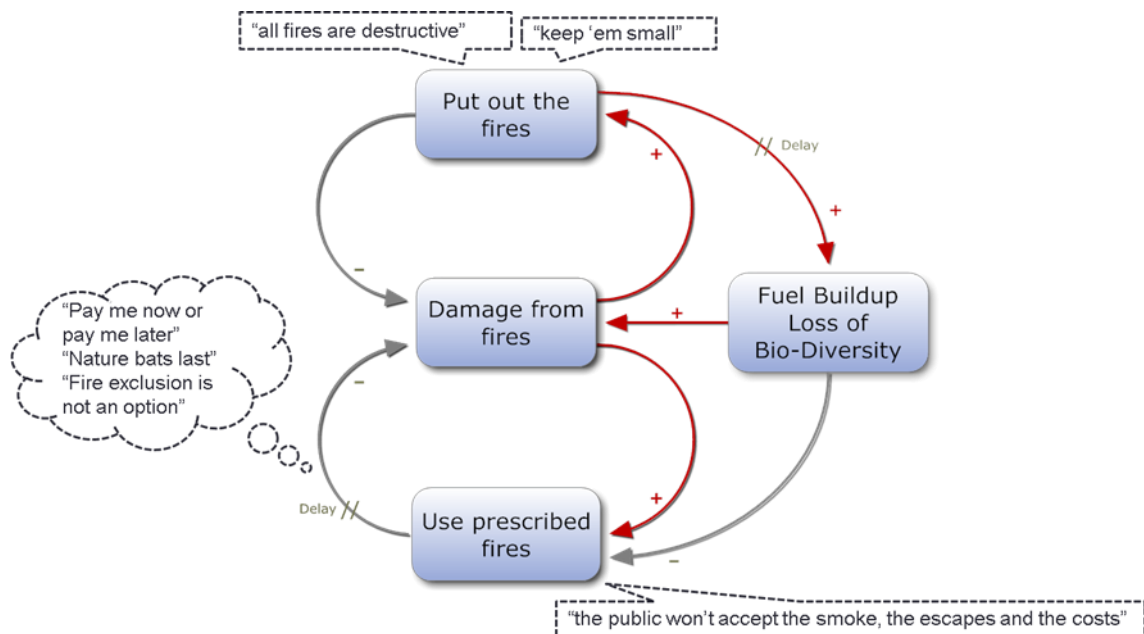


Ilustração 1 – Causal-loop diagram of our contemporary wildland fire story (Saveland 1998)

O arquétipo de dinâmica de sistemas acima, ilustra o problema anterior. No domínio da “gestão do fogo”, “supressão” e “fogo controlado” são duas alternativas de gestão de incêndios florestais. À primeira vista, investir em supressão parece mais interessante, pois ao contrário de um programa de fogo controlado, os efeitos são imediatos. Mas alargando a fronteira da nossa análise, verificamos que a supressão conduz à perda de biodiversidade e à acumulação de vegetação combustível, o que resulta em incêndios incontrolláveis e devastadores (EUA 2000/02, Portugal 2003/05, Austrália 2003).

A primeira abordagem ataca o sintoma, a segunda a causa profunda. À luz desta compreensão, o fogo controlado torna-se uma opção óbvia: uma vez que não podemos deixar a natureza seguir o seu curso, podemos obter o mesmo efeito desta forma. O problema é que a aplicação à floresta deste tratamento exige ciclos não superiores a 2-4 anos (Fernandes and Botelho 2003) e para mais enfrenta a oposição da sociedade (Saveland 1998). As populações foram levadas a acreditar que todos os fogos são maus, devem ser imediatamente extintos e que o fogo controlado é perigoso, caro e prejudicial para a atmosfera. Em qualquer caso a natureza

seguirá o seu curso, e a supressão sozinha apenas agrava o problema. Este exemplo evidencia a urgência de se encontrarem os instrumentos mais económicos e apropriados para sensibilizar as populações e utilizar de forma combinada a supressão e a “gestão de combustíveis” – de que o fogo controlado é uma das técnicas.

1.2 Incêndios Florestais em 2010

A sazonalidade habitual nos incêndios florestais foi ainda mais acentuada em 2010; com 95% da área ardida total, concentrada em Julho, Agosto e Setembro (Fase Charlie); e 75% apenas no mês de Agosto, um acréscimo de 34% em relação à média decenal desse mês.

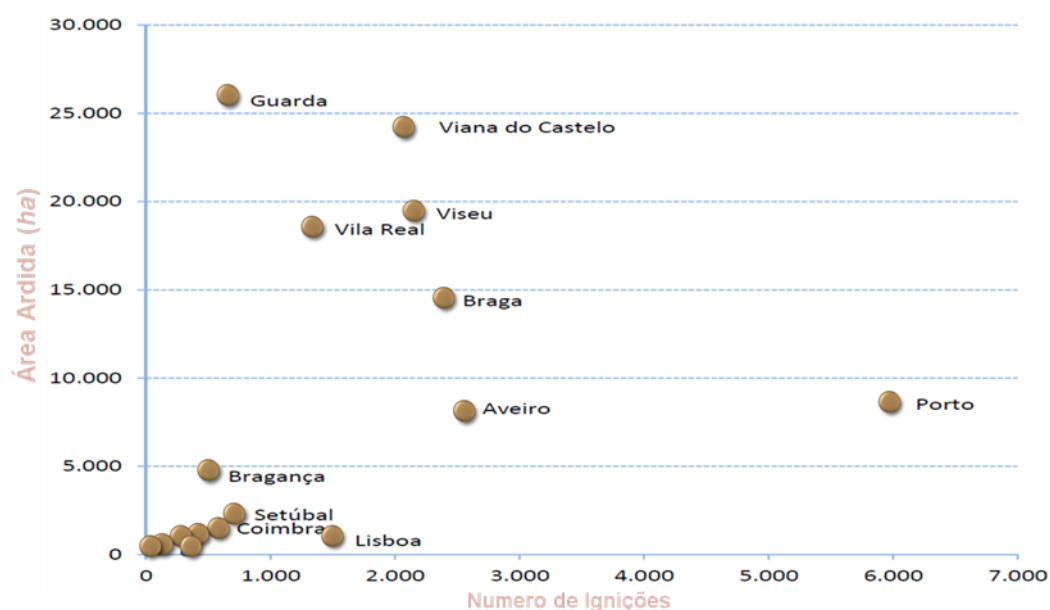


Gráfico 1 – Distribuição distrital do número de ocorrências e da área ardida (AFN 2011f)

As ocorrências tiveram o seu valor mais destacado no distrito do Porto (Gráfico 1), também com os distritos de Aveiro, Braga, Viana do Castelo e Viseu a apresentarem valores elevados. Em relação a área ardida, 77% da total, registou-se nos distritos da Guarda, Viana do Castelo, Viseu, Vila Real e Braga. Felizmente estes valores foram mais expressivos em matos do que em povoamentos (AFN 2011f).

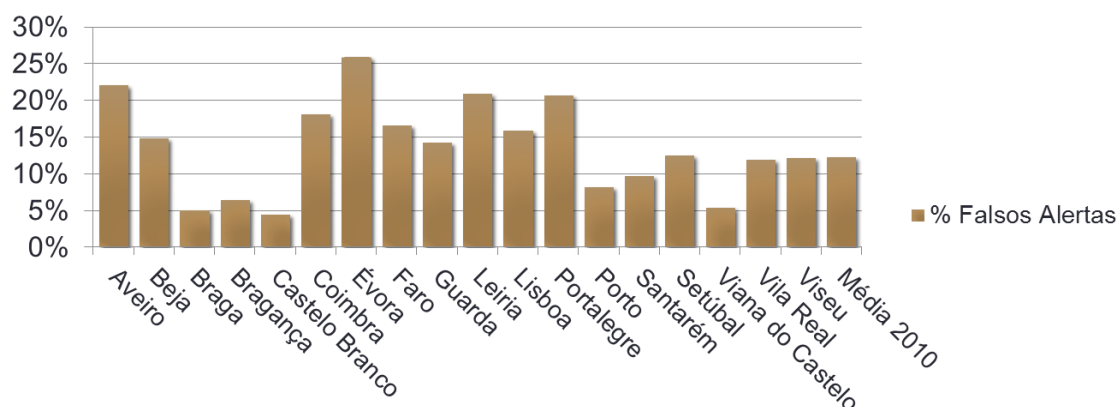


Gráfico 2 – Percentagem de Falsos Alertas (FA) no total das ocorrências em 2010.

No decurso do ano, houveram 3.975 falsos alerta, 12,3% das 32.357 ocorrências a que respondeu o DCIF, desde 4,5% em Castelo Branco até 26,0% em Évora (Gráfico 2).

Os 2.746 reacendimentos registados, representaram 13% do total das ocorrências, valor que contrasta com o objectivo da sua redução a menos de 1%, meta para 2010 (ISA 2005a).

Embora com menos ignições que o ano anterior, 2010 ultrapassou-o em área ardida, quebrando definitivamente a tendência decrescente iniciada em 2006 (Tabela 1). Considerando a distribuição anual do número de ocorrências e área ardida (Gráfico 27; consultar também o Gráfico 28) enquadra-se no grupo dos valores mais frequentes na década anterior, assemelhando-se também no número de ocorrências, ao ano de 2004.

Com perdas de valor em produtos e serviços prestados pelos ecossistemas florestais e emissões de CO₂ estimadas em perto de duzentos milhões de euros e um milhão de toneladas respectivamente, foi também a primeira vez desde 2006, que foram ultrapassadas as fasquias estabelecidas pelo PNDFCI (AFN 2011f) a este respeito.

A variação do número de ignições anuais observadas ao longo da década, quando comparadas com o valor em 2010, situou-se entre 67,8 e 162,6%.

1.3 Falsos Alarmes, Reacendimentos e o Colapso

O volume elevado de falsos alarmes, provoca um grande desgaste nas equipas mobilizadas para a primeira intervenção (AFN 2011h), que demasiadas vezes saem ao encontro de nada e ficam indisponíveis para fogos reais, ao invés de estarem em regime de prontidão, descansando ou recuperando energias; ou são mesmo retiradas apressadamente do teatro de operações, a correr para o fogo que não é; talvez deixando um incêndio mal resolvido; ou um rescaldo feito à pressa, que umas horas depois reacende.

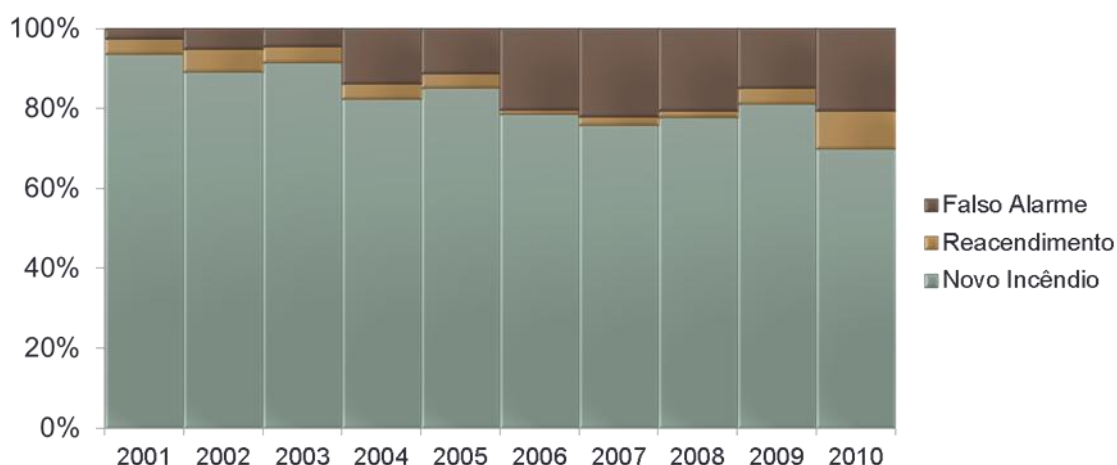


Gráfico 3 – Peso dos Reacendimentos e Falsos Alarmes em dez anos de esforço de supressão

Nos números anteriores, também impressiona a quantidade assoberbante de reacendimentos. Demasiados reacendimentos. Demasiado esforço em vão. Esforço para nada. Esforço sem glória (Gráfico 3). Estarão relacionados? Reacendimentos e Falsos Alarmes? E qual o impacto no ponto de ruptura? Com uma variação tão grande no número de ignições, de ano para ano, de que forma afectam a capacidade de resposta? Não, não nos referimos à incapacidade de comando, ao colapso que pode acontecer (e acontece) quando a estrutura de comando viola a antiga regra militar, de um homem só tem capacidade para comandar outros cinco. Falamos de algo mais elementar. Falamos de acontecer um incêndio e não existir uma equipa livre para o combater. De quando um incêndio fica em “fila de espera”, aguardando pela sua vez, ardendo de paciência pelas lezírias ou numa montanha. É isso que chamamos de colapso e é sobre estes três aspectos que nos debruçamos ao longo da dissertação.

Começamos por reduzir o horizonte temporal a 2010, assim que constatamos que se trata do primeiro ano, em que é possível examinar de forma adequada os falsos alarmes (mais à frente, em §1.5, explicaremos o motivo). Num segundo momento, limitamos a fronteira espacial ao distrito do Porto, nomeadamente pela disponibilidade de dados relacionados com os recursos mobilizados para cada ocorrência.

1.4 Incêndios Florestais no Distrito do Porto

A tendência histórica observada no distrito do Porto para um elevado número de ocorrências, foi em 2010, fortemente influenciado pela elevada concentração de fogachos – das 6.007 ocorrências registadas, 90,6% correspondem a essa tipologia (Tabela 2). Comparando os valores anuais da década com os do ano passado, observa-se uma oscilação similar à nacional, mas com extremos inferiores, 39,2 e 128,4%. O que indicia um ano relativamente pior.

Tabela 2: Número de ocorrências e área ardida ao longo do último decénio, no distrito do Porto; Para os dados nacionais, consultar a Tabela 6 (página 52).

Ano	Nº de Incêndios Florestais				Área Ardida em Incêndios Florestais (ha)		
	Total	≤ 1ha	>1ha e ≤100ha	> 100ha	Área Total	Área Média	Maior Incêndio
2001	5.823	85,2%	14,8%	4	5.342	0,92	282
2002	5.976	84,7%	15,2%	4	5.032	0,84	260
2003	7.715	88,4%	11,5%	10	7.947	1,03	792
2004	4.598	86,9%	12,9%	9	6.574	1,43	780
2005	7.628	82,9%	16,6%	39	25.510	3,34	1.859
2006	4.590	89,0%	10,8%	8	7.007	1,53	1.132
2007	3.489	90,4%	9,6%	1	1.419	0,41	280
2008	2.353	93,7%	6,3%	0	573	0,24	35
2009	6.819	87,0%	12,8%	11	9.161	1,34	879
2010	6.007	90,6%	9,1%	15	8.551	1,42	639
Minímo	2.353	83%	6%	0	573	0,24	35
Média	5.500	88%	12%	10,1	7.712	1,25	694
Máximo	7.715	94%	17%	39	25.510	3,34	1.859

Esta posição cimeira é coerente com o mapa de risco de ignição para Portugal continental (Catry et al. 2007; Catry et al. 2009), cujas variáveis explicativas relacionam a sua abundância, com a presença e actividade humana. Nomeadamente a densidade populacional, a acessibilidade humana, o tipo de ocupação e uso do solo, e a elevação.

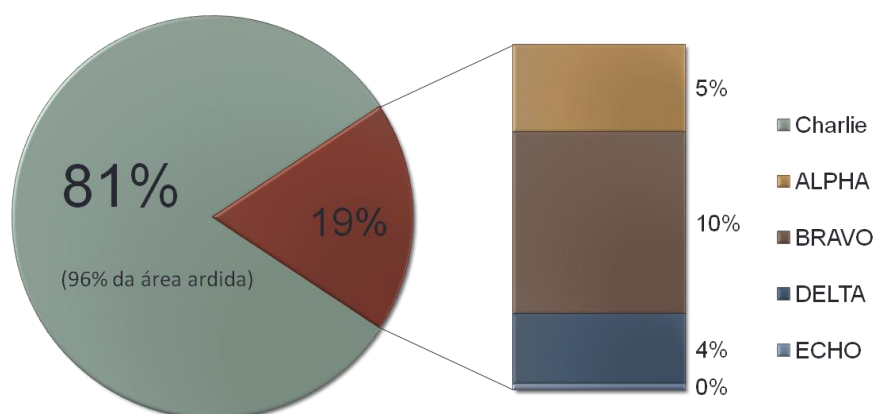


Gráfico 4 – Percentagem de ocorrências por fase, no distrito do Porto, em 2010.

A diversidade do distrito reúne os quatro factores. A densidade populacional do litoral estendendo-se até ao centro, a profusão de estradas (por exemplo na esplendorosa mancha

florestal entre o Porto e Penafiel), a presença de práticas agrícolas que tradicionalmente recorrem à queima de sobrantes de exploração, desde a Póvoa de Varzim até ao Vale do Sousa, e a prática de queimadas pastoris (para renovação de pastagens), na Serra da Aboboreira e no Marão.

O facto de ao longo de 2010, 74% das ignições ocorrerem durante a fase Charlie (Gráfico 4) tanto no distrito do Porto como a nível nacional, conduziu à opção de reduzir ainda mais o horizonte temporal, concentrando a dissertação neste curto, mas difícil período de três meses.

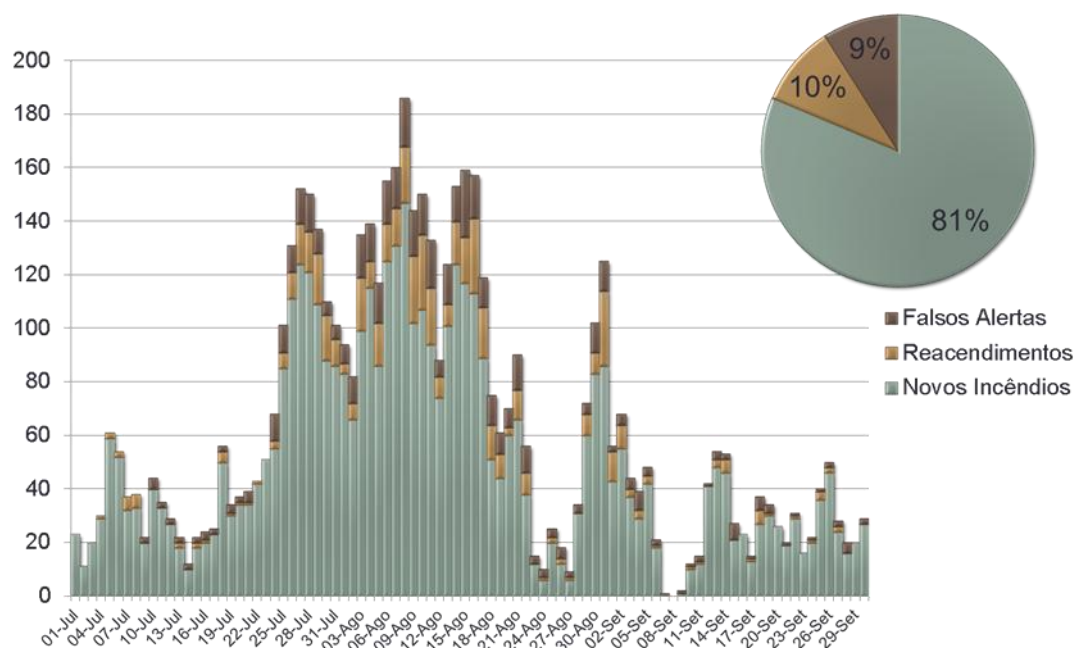


Gráfico 5 – Número de FA, RCD e incêndios nascentes ao longo da Fase Charlie.

Esta escolha só peca pelo menor número relativo de falsos alarmes, 8,2% (613) quando comparado com a média nacional de 12,3% (3975) – 50% superior – onde há distritos como os de Aveiro, Évora, Leiria e Portalegre com essa percentagem acima de 20% (Gráfico 2, página 3). Mesmo assim, os falsos alertas e os reacendimentos representaram em conjunto, quase 20% do total das ocorrências durante o período escolhido (Gráfico 5).

1.5 Questões de Investigação e Método

No panorama dos desafios da gestão do planeamento dos espaços florestais (gestão florestal), para a gestão de operações (Martell, Gunn, and Weintraub 1998) e em particular da gestão do fogo (Martell 1982, 2001, 2007, 2011), embora o nosso interesse esteja mais do lado da gestão dos combustíveis (prevenção) e na sua coordenação com os esforços de supressão (ver a *framework* na Ilustração 19, página 56), as nossas questões de investigação enquadram-se neste último tema.

- [1] Existe evidência no sentido de validar a hipótese de que em dias com mais ignições, os meios de combate são compelidos a abandonar prematuramente as operações de rescaldo, originando mais reacendimentos?
- [2] Qual o impacto dos falsos alertas e reacendimentos nos recursos de supressão?
- [3] Qual a relação entre o limiar de colapso (nível de recursos mínimo) e a variação do número de ignições diárias?

Numa perspectiva sistémica (Claro 2010) começamos por examinar a literatura publicada e estudar os “reacendimentos” e a sua relação com as condições meteorológicas, o fogo

subterrâneo e a utilização de técnicas de combate inapropriadas. Seguidamente, deparamo-nos (por acaso) com a dimensão dos “falsos alarmes” e quisemos analisar mais de perto o impacto de ambos (ver Gráfico 3, página 4) no decréscimo dos meios de combate disponíveis, nos custos e principalmente na segurança dos próprios bombeiros (Pacheco 2011); e por fim, construímos um modelo de simulação de um sistema de supressão.

Usamos essencialmente os dados da AFN (2011g) e conseguimos ligar os mesmos com os dados gentilmente cedidos pelo CDOS do Porto relativos a 2010. Essa ligação, permitiu associar os dados sobre a dimensão, duração, causas e localização dos incêndios florestais (AFN 2008, 2008a, 2010b, 2010c, 2010d, 2010e) entretanto actualizados (AFN 2011g), aos recursos e meios (número e tipo) utilizados no seu combate (CDOS) no caso do distrito do Porto e ao longo do último ano. Em nenhum momento foram utilizados os dados fornecidos pelo CDOS Porto isoladamente, pelo que de ora em diante, referiremos a utilização conjunta por [AFN-CDOS.p] e quando nada for referido, subentende-se que apenas se usaram os dados com origem na AFN (2011g). O cruzamento foi feito com cuidado e verificou-se a existência da mesma ocorrência com local e por vezes freguesias e mesmo municípios distintos, nas duas fontes referidas. Felizmente, a AFN veio a confirmar que durante a importação de dados, o SGIF faz uma pesquisa sobre o local indicado e por vezes redefine a sua localização, e assim, puderam ser utilizados todos os dados existentes.

Os dados a que tivemos acesso estão no formato de duas folhas de cálculo, o que dificulta o seu manuseamento. É como se a partir de diferentes perspectivas fosse necessário imaginar o objecto real (a base de dados). A partir de cerca de cinquenta colunas iniciais, acabamos com mais de oitenta num total de registos que variou entre sete mil e mais de trezentos e trinta mil, no caso do distrito do Porto em 2010 e os dados nacionais da última década, respectivamente.

Mas uma coisa é ter os dados, outra é compreendê-los. O objectivo de analisar dados históricos é melhorar a nossa compreensão das tendências que se formaram, com o objectivo de estimar possibilidades futuras. E o primeiro passo passa por verificar a sua qualidade, o que realmente representam, e o propósito com que foram coligidos (de Neufville and Scholtes 2009). Por exemplo, a definição de um “falso alarme” e a classificação de uma ocorrência nessa tipologia, no contexto do dispositivo de combate a incêndios florestais (DCIF) acontece sempre que há mobilização de meios para ocorrências que se vem a constatar não serem um incêndio florestal. Assim, se alguém faz uma chamada para o 117 a respeito de um incêndio que não existe, ou se chama os bombeiros porque vê fumo e depois se constata que era uma casa ou um carro a arder, os três casos são classificados como “falso alarme”. Ora, a interpretação comum levar-nos-ia a considerar como falso alarme apenas o primeiro caso. Do ponto de vista dos meios do DCIF isto faz todo o sentido, uma vez que se mobilizou para algo que não faz parte da sua missão.

Optamos por manter o uso dado ao termo “falso alarme” e designar o falso alarme que se refere a um incêndio que não existe como “falso alerta” (FA) e reservar os falsos “falsos alarmes” (FFA), no sentido comum, para as ocorrências que uma vez constatado não se tratarem de incêndio florestal, foram requalificadas em outras tipologias. Fruto de uma alteração recente na base de dados do SGIF, é por este motivo que 2010 é o primeiro ano em que se pode tratar adequadamente da questão dos falsos alarmes, pois é o primeiro ano em que é possível distinguir os FA dos FFA.

Para responder a [1] usamos regressão sobre a aturada análise dos dados AFN-CDOS.p já referidos. Em paralelo com a pesquisa da literatura, para ganhar sensibilidade, fizemos algumas saídas de campo, várias reuniões informais, e dez entrevistas gravadas [ENT] com

autorização de citação (ver o APÊNDICE D: Entidades Contactadas e Lista de Entrevistas, página 54) que estiveram também na base do sistema de supressão de incêndios florestais [SSIF], concebido com o intuito de responder às questões [2] e [3] através da sua modelação e recorrendo a simulação.

Para o estudo inicial e posterior parametrização do modelo de simulação, usamos tabelas dinâmicas e outras funções habitualmente presentes nos *softwares* que lidam com folhas de cálculo. Fizemos análise de *cluster* no ®IBM SPSS e usamos o ®EasyFit e o ®Arena Input Analyser, para o ajustamento das distribuições de probabilidade. O modelo foi construído no ®ARENA de que os livros de Rossetti (2010) e de Kelton, Sadowski, e Swets (2010) são excelentes manuais. Para a extracção de *outputs* finalmente analisados novamente com recurso a tabelas dinâmicas, foi ainda usado o ®Arena Process Analyser e em menor escala o ®OptQuest for Arena.

1.6 Enquadramento do Trabalho de Investigação

O contexto das insuficiências do desenho dos sistemas de gestão de incêndios florestais que temos vindo a aflorar, foi o pano de fundo em que surgiu o FIRE ENGINE. Uma combinação de esforços do INESC Porto, ISA, UTAD e do Programa MIT Portugal, subvencionado pela FCT. O projecto visa a selecção apropriada das alternativas de gestão disponíveis, tendo em consideração as interacções entre os factores tecnológicos, sociais, culturais e económicos.

Dando particular atenção às incertezas críticas inerentes (alterações climáticas, condições económicas, tecnologia disponível e gestão de operações) o projecto combate a dinâmica complexa destes sistemas, dos quais podem resultar atitudes de resistência que emergem como um impacto distante e indesejado, a medidas aparentemente apropriadas (Claro 2010).

O paradigma é o dos sistemas de engenharia, ou seja, conceber, criar e operar sistemas a partir de uma abordagem integrada e holística, e com plena consciência de todos os aspectos essenciais, combinando a engenharia, a gestão e as ciências sociais (Pacheco and Claro 2011). Foi no INESC Porto e no quadro do FIRE ENGINE que desenvolvemos esta dissertação, entre Março e Junho de 2011.

1.7 Estrutura da Dissertação

Finda esta introdução em que procuramos contextualizar o problema e a nossa absoluta motivação, no próximo capítulo tratamos os FA e os reacendimentos [RCD] com mais profundidade e respondemos a [1]. No terceiro capítulo, descrevemos o SSIF, apontamos abordagens alternativas, passando depois ao desenho e construção do modelo de simulação [MS]. O quarto capítulo é dedicado à parametrização e validação do MS, e o quinto inteiramente consagrado à análise dos resultados. No capítulo seis, concluímos a dissertação elaborando sobre as suas limitações e apontando perspectivas de trabalho futuro.

De uma forma geral, a informação complementar de nossa autoria (elaboração própria – EP) foi colocada em apêndice, figurando em anexo quando de outros autores – por uma questão de usabilidade – evitando ao leitor a necessidade de procurar a fonte citada.

2 Falsos Alertas e Reacendimentos

O problema da política de despacho de meios é recorrente, quando se trata de decidir quantos e que género de meios enviar a partir da parca informação recebida e no momento do alerta (Ignall et al. 1975). Pode tratar-se de um falso alarme ou de um incêndio, mas o operador na sala do CDOS reage da mesma forma [ENT] e os meios são despachados. Mas os recursos existentes são finitos e os FA desbaratam um conjunto de recursos e colocam em risco a vida dos bombeiros, ao tornarem o dispositivo de combate menos disponível para os verdadeiros incidentes (Yang et al. 2003). A escassez de meios por seu lado contribui para que o rescaldo não seja feito de forma adequada, aumentando o número de reacendimentos, como esquematizado abaixo (Ilustração 2) de forma dinâmica.

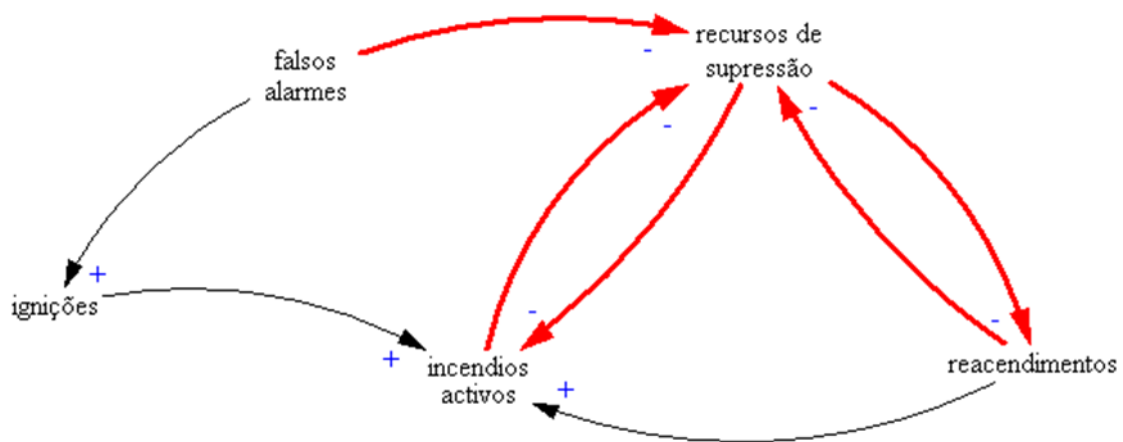


Ilustração 2 – Impacto dos FA e RCD nos recursos de supressão.

Além destes problemas, a mobilização de meios para um FA, que pode ser bem-intencionado ou deliberado (seja por brincadeira ou malicioso), coloca também em perigo a vida do público em geral, não só pelos distúrbios de trânsito inevitáveis como pelas consequências para as ocorrências genuínas e representam um desperdício de fundos públicos (Yang et al. 2003). Partindo do valor do custo directo de €788 por hora de voo [ENT], sabendo que em média foram gastos 30 minutos [ENT] até a confirmação de FA e que houve sessenta e quatro saídas de um meio aéreo para esse fim, imediatamente se conclui, que se gastaram do erário público mais de 25 mil euros, inutilmente – e este é apenas um pequeno exemplo.

Por outro lado, como avisa Wallace (1978) com o exemplo da cidade de Nova Iorque, qualquer mudança de política de gestão (estratégia) e despacho (táctica) dos meios, não pode ser baseada numa análise de operações simplista e requer uma abordagem holística.

2.1 O Impacto dos Falsos Alertas

Sendo este problema similar ao experienciado nas chamadas efectuadas através do 112 (Killalea 1998) há pouca literatura disponível sobre este tema (Flynn 2009). Os números são escassos e a dificuldade de comparação agrava-se pelo facto de se verificar que os alarmes das casas estão directamente ligados aos meios de socorro e que isso também gera falsos alarmes [FAA], por exemplo por falhas na cablagem, defeitos no equipamento ou operação acidental (Tu 2002). Em alguns casos foi possível partir dos elementos disponíveis no artigo, e calcular valores comparáveis.

Na ilha da Tasmânia, situada na Austrália e com 2/3 da área de Portugal, os FA representam 34% do total de falsos alarmes e entre estes, os deliberados (M/FA) representam 18% (Killalea 1998), enquanto na Nova Zelândia, variam entre 58 e 79% (para informação complementar, Tabela 7, página 52), de acordo com a região (Tu 2002). Não sabemos a dimensão desta proporção em Portugal, mas importa salientar que em ambos os casos, os FAA são duas vezes superiores. Pelo contrário, nos EUA e em dois anos consecutivos (2007 e 2008), esse valor foi inferior ($FAA=2/3 \times FA$) e o mesmo quociente (M/FA) variou entre 16,2 e 19% (Karter 2008, 2009). Em relação a este último intervalo, (cerca de sete por cada 10 mil habitantes, e por ano) há que considerar que se incluem aqui todas as chamadas de emergência, e que os valores nacionais do ano passado, (4/10 000) apenas incluem incêndios.

No condado de Derbyshire, situado no centro-norte de Inglaterra (*Midlands Oriental*), no Reino Unido (entre Manchester e Sheffield), os FA deliberados representam 5% de todas as chamadas de emergência recebidas em 1999 no *Derbyshire Fire & Rescue Service* (Yang et al. 2003). Regressando à Nova Zelândia, e com os cálculos que referimos no parágrafo anterior a partir de dados que reportam a 1995-2000 (Tu 2002), a percentagem é idêntica, varia entre 3,3 e 7,8%, com 5% em média. O autor mostra no artigo que esse valor também varia em função da origem da chamada, por exemplo nas prisões, os FA deliberados são 8,3 vezes mais frequentes do que em lares e casas de repouso. É curioso que mesmo num contexto de incêndios não florestais (urbano-rurais), como na região sul do País de Gales, a *South Wales Fire and Rescue Service* contabilizou em 2000-2004, uma percentagem não muito superior, 6,6% (Corcoran et al. 2007).

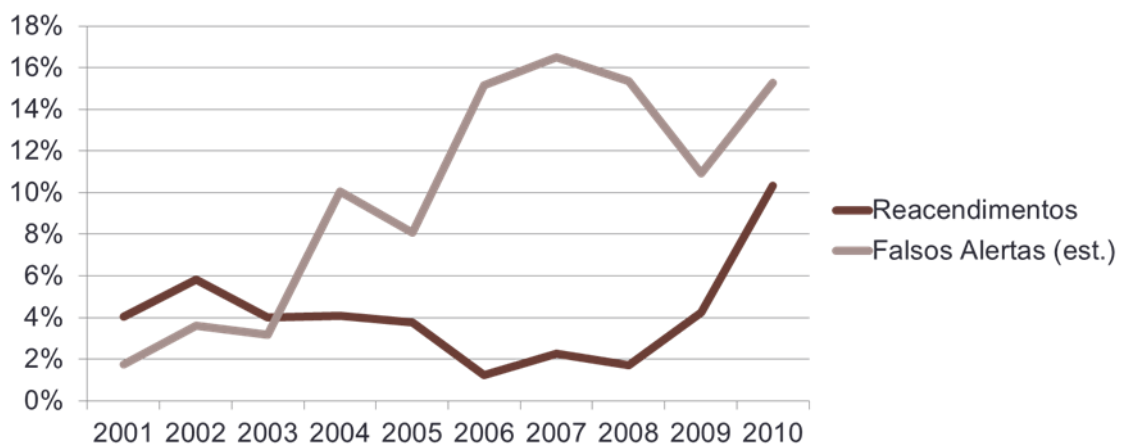


Gráfico 6 – Evolução de FA e RCD em Portugal (valores absolutos, Gráfico 26, página 53)

Os dois primeiros números são comparáveis e representam menos de metade dos valores registados desde 2006 (Gráfico 6, acima) – considerando no cálculo, a soma dos incêndios florestais com os FA estimados. O motivo apontado para este acentuado crescimento [ENT] foi a alteração da política de despacho em 2006, com a utilização do chamado “ataque musculado” [ENT] que visa eliminar um incêndio na primeira intervenção, mobilizando sempre que possível um meio aéreo. Segundo vários entrevistados, o conhecimento deste facto leva alguns adultos e crianças a alertar indevidamente os bombeiros, com a esperança de ver o helicóptero de perto. Encontram-se evidências na literatura que associam este género de chamadas a zonas desfavorecidas (Yang et al. 2003) e de que na sua maioria são feitas de telefones públicos, principalmente por crianças (Wallace 1978; Yang et al. 2003). No CDOS do Porto [ENT] foi implementada a política de pedir o número e devolver a chamada, quando se percebe que se trata de uma escola (origem de muitos dos FA) ou pedir para falar com o

pai, reconhecendo-se a voz de uma criança – o que estará na origem da menor percentagem observada no distrito, 2/3 da média nacional (8,2% para 12,3%). Killalea (1998) apresenta evidências desta redução de 1/3, dois anos depois da implementação da medida de identificar a proveniência de todas as chamadas.

Antes de pensar em medidas concretas é necessário analisar e compreender a origem deste fenómeno (Corcoran, Higgs, and Higginson 2011). Em Derbyshire foram usados algoritmos genéticos para criar *clusters* que particionaram o condado, permitindo identificar as zonas de alto risco de FA deliberado (Yang et al. 2003). A estatística espacial (*spatial statistics*) e a análise de regressão, também foram usadas para explorar as relações entre factores socioeconómicos e diferentes tipos de ocorrências, incluindo os FA deliberados (Corcoran et al. 2007; Corcoran, Higgs, and Higginson 2011). Primeiro no País de Gales (Corcoran et al. 2007) e mais tarde, num estudo comparativo (Corcoran, Higgs, and Higginson 2011) entre Brisbane (Austrália) e Cardiff (Reino Unido). No caso Brisbane, os FA deliberados foram associados a zonas com menos apartamentos e moradias desocupadas e a taxas elevadas de população branca; em Cardiff, a pessoas com menos formação superior, com taxas baixas de habitação em casa própria e morando em zonas com mais apartamentos e moradias desocupadas; e em ambas as cidades, a taxas mais baixas de posse do carro, factor já antes identificado na envolvente de Cardiff, a região sul do País de Gales (Corcoran et al. 2007). As diferenças encontradas, evidenciam a importância de não fazer generalizações precipitadas e a vantagem deste género de estudos para o estabelecimento de novas políticas. Uma vez identificadas as zonas de risco, será facilitado o desenho de novas estratégias de intervenção junto dessas populações. Embora estes exemplos tratem de zonas não florestais, seria interessante usar estas técnicas para investigar o fenómeno dos FA em Portugal.

De um modo geral, salienta-se na literatura a importância de medir a quantidade de FA. Tal como se podem tirar conclusões sobre a eficácia dos programas e campanhas de sensibilização das populações, através da análise da evolução do número de ocorrências (AFN 2011f; Killalea 1998), o mesmo deve ser feito em relação aos FA, registando-os, tipificando-os e analisando a sua origem (Flynn 2009). Além da medida já referida de identificação das chamadas, Killalea (1998) sugere em relação aos FA bem-intencionados, a informação da população sobre o que é, ou não, adequado reportar e refere ainda a possibilidade de se considerar publicar e publicitar os custos reais associados aos FA – medida que precisa de ser estudada, uma vez que o seu êxito ainda está por estabelecer. Ainda em relação aos FA bem-intencionados, em Portugal «este tipo de situações ocorre com muita frequência em locais com obras, em que o pó é confundido com fumo» (AFN 2011h).

2.2 A Dinâmica dos Reacendimentos

O combate dos incêndios fora das estradas ainda é relativamente raro (Beighley and Hyde 2009) para o que contribui a limitação táctica imposta pela escassez de equipas especializadas na utilização de ferramenta manual por pessoal apeado (ISA 2005d), deficiências que no caso do rescaldo, concorrem para uma inaceitavelmente elevada percentagem de reacendimentos em Portugal (Beighley and Hyde 2009). Este problema está bem documentado (Beighley and Hyde 2009; ISA 2005a, 2005c, 2005d, 2005e; Wiitala and Wilson 2005) e admiravelmente bem esquematizado por Oliveira (2011) na «dinâmica do ciclo vicioso do combate e as oportunidades para o quebrar» (Ilustração 20, página 56).

Concentrar o combate junto das casas, esperando o fogo e ignorando a evolução do perímetro, permite que o incêndio continue a avançar, ameaçando novas áreas [ENT]. As brigadas do

GIPS e da AFOCELCA, juntamente com os Sapadores Florestais, encontram-se entre as poucas equipas que fazem o combate de forma adequada. Havendo água disponível, evita-se a construção de linhas de corta-fogo, o que é um péssimo hábito especialmente na floresta (Beighley and Hyde 2009), onde a acção do próprio incêndio cria uma camada de impermeabilização que permite a continuada combustão das raízes no subsolo, fonte de reacendimentos posteriores [ENT]. O gráfico seguinte (abaixo) mostra que mais de metade dos reacendimentos eclode mais de 24h depois de declarado extinto o incêndio original. Em 2010, no distrito do Porto e durante a fase Charlie, a média foi de quase quatro dias (3,96).

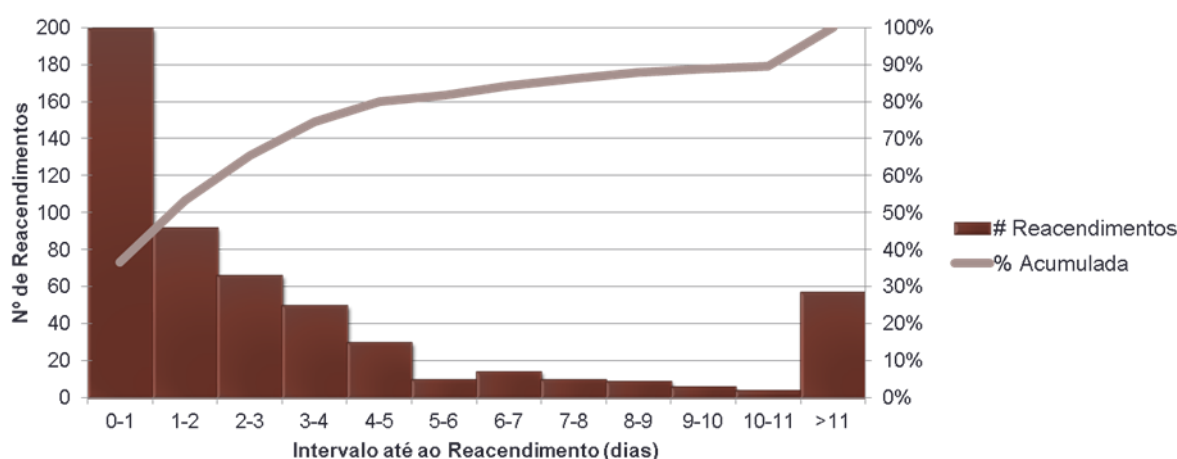


Gráfico 7 – N.º de RCD's em função da distância temporal (dias) ao incêndio “pai”.

Como sugerido no PNDFCI, um avião de reconhecimento equipado com uma câmara de infravermelhos (ISA 2005c), bem como, equipamentos portáteis similares [ENT] poderiam ajudar a mitigar este flagelo. De facto, quando o rescaldo é mal feito, a possibilidade de ocorrerem vários reacendimentos ao longo do perímetro, por vezes em simultâneo e reacendimentos com origem em reacendimentos, é grande [ENT]. A sua perigosidade também é maior [ENT] pois a juntar às condições adversas de um incêndio primário (triângulo do fogo), soma-se a presença de ainda mais calor [ENT].

Tabela 3: Retrato de três gerações de Incêndios em números (Porto, 2010 e 2010/Fase Charlie)

				1ª Geração	2ª Geração	3ª e Seguintes		
2010	Todos	#		6263	520	52	6835	(total)
	Não Reacenderam			6050	497		8,3%	(reacendidos 2ªG/1ªG)
	Reacenderam	%		213	23		10,0%	(reacendidos 3ªG/2ªG)
				3,4%	4,4%			
Charlie	Todos	#		5118	500	51	5669	(total)
	Não Reacenderam			4921	478		9,8%	(reacendidos 2ªG/1ªG)
	Reacenderam	%		197	22		10,2%	(reacendidos 3ªG/2ªG)
				3,8%	4,4%			

A tristemente famosa percentagem de 10% de RCD (que deveria ser 1%, meta do PNDFCI, como já referido) calculada da forma habitual (tendo em consideração apenas os incêndios florestais, isto é, não incluindo os falsos alarmes) resulta apenas de 4% de incêndios primários que reacenderam! Efectivamente, durante a fase Charlie (no Porto; ver Tabela 3 acima e o Gráfico 8, abaixo), entre os 5118 incêndios primários houve 197 (3,8%) que deram origem a 500 RCD, dos quais, 22 (4,4%) originaram ainda mais 51, em gerações sucessivas (até à quinta). Isso significa que teriam sido evitados 551 incêndios executado bem o rescaldo dos 197 iniciais. Analisando a totalidade do ano, o resultado é análogo. Estas conclusões foram extraídas quase manualmente a partir dos dados, ligando cada RCD ao incêndio que lhe deu

origem e assim sucessivamente, destrinchando entre os RCD as linhas genealógicas e entre os incêndios, aqueles que lhes deram origem.

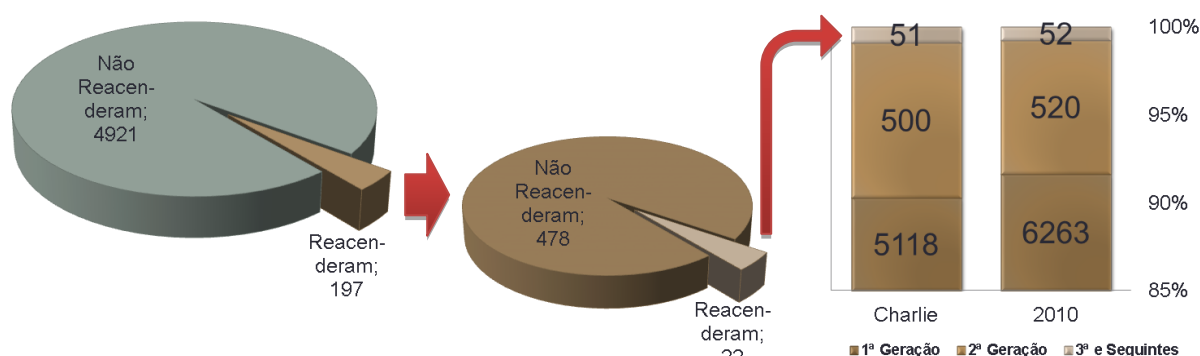


Gráfico 8 – Ilustração de gerações sucessivas de reacendimentos (2010, Porto, Charlie)

As brigadas que fazem o ataque inicial (e eventual ataque estendido) são as mesmas que também são responsáveis pelo rescaldo. Deste “duplo-dever” resulta que em dias com mais ignições [IGN] esse trabalho não é bem executado, pois são chamadas a combater novos fogos e abandonam o teatro de operações prematuramente. Esta situação, juntamente com o facto (atrás referido) de que os RCD ocorrem em zonas menos acessíveis e requerem técnicas de sapador, levou Beighley e Hyde (2009) a sugerirem a criação de equipas especializadas no rescaldo.

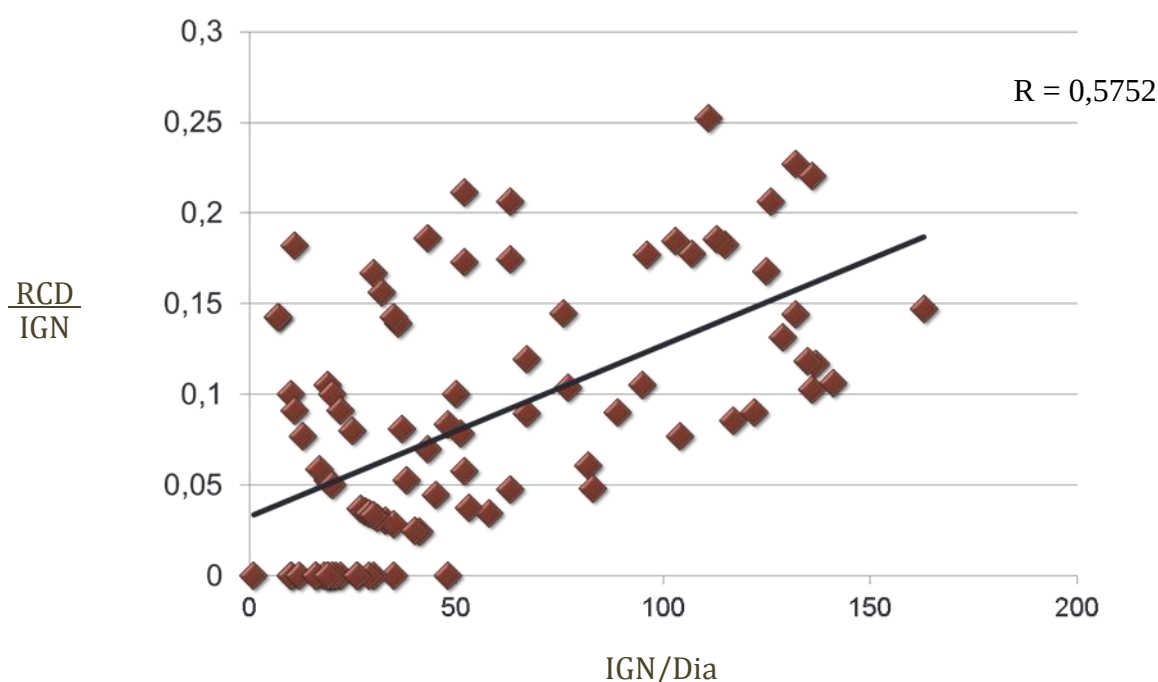


Gráfico 9 – Resposta positiva à questão de investigação [1].

Em condições “normais”, é de esperar que em dias com mais ignições haja proporcionalmente mais reacendimentos. Usando regressão, comprovamos (Gráfico 9, acima) que a sua ocorrência é favorecida em dias com mais ignições [1], evidenciando a correlação entre o quociente RCD/IGN e as IGN/dia (ou equivalentemente, o melhor ajustamento de uma quadrática com a concavidade voltada para cima, em relação a uma linear). Efectuou-se também um teste de hipóteses à regressão linear, tendo-se verificado que esta é estatisticamente significativa, com um valor de prova de 3×10^{-9} .

3 Observação, Concepção e Desenho

Uma vez resolvida a primeira questão de investigação [1] a escolha da simulação para as restantes ([2] e [3]) exige primeiro (Kelton, Sadowski, and Swets 2010), a concepção de um sistema de supressão de incêndios florestais. O nosso desenho, esquematizado na Ilustração 3 (abaixo), embora alicerçado na literatura, resultou fortemente da compreensão das operações de supressão, obtida no decurso do nosso trabalho de campo.

3.1 Um Sistema de Supressão

Se os trabalhos sobre a mobilização de meios aéreos são abundantes, desde o clássico de Bookbinder e Martell (1979) sobre a alocação de helicópteros ao transporte de sapadores para as zonas mais remotas de Ontário (Canadá) até às operações com aviões (Islam and Martell 1998; Greulich 2003; Podur and Martell 2007; Islam, Martell, and Posner 2009); as referências à alocação de meios terrestres são mais esparsas e estão dispersas, desde os textos fundamentais de David Martell (Martell 1982, 2001, 2007, 2011) até à recém-publicada revisão sobre incerteza e risco na gestão do fogo (Thompson and Calkin 2011).

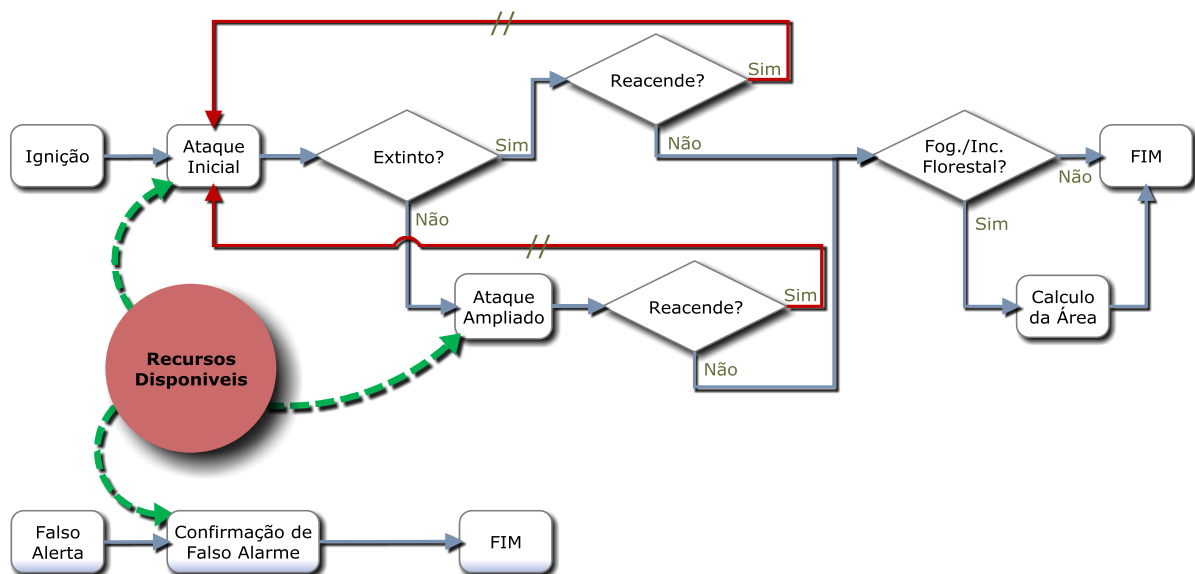


Ilustração 3 – Esquema do Sistema de Supressão de Incêndios Florestais desenhado.

A adopção do (atrás referido) “ataque musculado” a partir de 2006, com a deslocação de duas equipas (ECIN) com cinco elementos (três se for usado um veículo antigo), uma viatura de abastecimento (ELAC) com condutor e um ajudante, e ainda um meio aéreo (neste último aspecto, o trabalho de Almeida (2005) foi uma importante contribuição), terá resultado na diminuição observada de área ardida [ENT] nos anos subsequentes. A mudança radical é que agora “ataca-se com a força toda” [ENT].

No nosso sistema (Ilustração 3, acima), o tempo zero acontece quando é reportada uma ocorrência, (não encontramos estudos sobre o tempo que medeia entre a ignição e o alerta), e o termo “chegada” ou “ignição” é usado indistintamente para designar esse momento. Essa ocorrência pode ser uma ignição ou um falso alarme, o operador não pode saber e usa a regra de despacho descrita. No entanto, pela análise de dados sabe-se que o tempo de confirmação de um falso alarme é inferior ao limite teórico máximo do ataque inicial (62 e 90 minutos, respectivamente). Motivados por essa diferença no tempo de serviço e porque, no caso de um

falso alarme, não ocorre o ataque ampliado nem reacendimentos (nos 6077 houve registo de 4 RCD que ignorámos) o falso alarme tem um tratamento distinto.

Voltando ao fio principal, o incêndio pode ser extinto durante o ataque inicial [IA] (primeira intervenção) ou seguir para ataque ampliado (combate estendido). Em ambos os casos, se reacender, volta ao ponto de partida, o IA com um *delay* (//) tal como explicamos na secção anterior. Caso contrário, é contabilizada a ocorrência e a área ardida, apenas se se tratar de um incêndio florestal ou de um fogacho. As queimadas e os incêndios agrícolas, as outras duas categorias do grupo “Fogo Florestal” não são contabilizadas nos relatórios oficiais áreas ardidas e número de ocorrências (AFN 2011f). Para informação adicional, consultar o glossário e a Ilustração 17 (página 53).

3.2 Abordagens Alternativas

Começamos por abordar os reacendimentos com “filas de espera”, na verdade um sistema de filas de espera (Jackson Networks), mas com a junção dos falsos alertas, abandonamos esse caminho. Citando Bettinger (2010), «*the more complex the wildfire integration process becomes, the implication seems to be that simulation models and heuristics are necessary*».

A literatura é abundante, principalmente sobre *call centers* que apresentam semelhanças evidentes com os sistemas de supressão. Aqui os clientes são os fogos, e o tempo de serviço é o de supressão. As características típicas de um serviço de emergência, como é aqui o caso, com disciplina da fila não FIFO e recursos ou tempo de serviço em função do tempo de espera, empurram para uma abordagem matemática complexa (Posner 1973), ou muito recente (Bekker et al. 2009; Koole, Nielsen, and Nielsen 2009) e afinal de contas, demasiado rígida para o que acabaram por ser os nossos objectivos. No entanto é uma via com muito valor, muito fecunda e muito aplicada neste contexto dos fogos florestais (Mandelbaum 2002; Mandelbaum and Hlynka 2008, 2009).

Além de heurísticas, a programação linear, é outro método que tem sido usado na integração da gestão do fogo no planeamento da gestão florestal (Bettinger 2010), de que (Falcão and Borges 2005) é um exemplo. Outra via de trabalho futuro que nos parece especialmente promissora, são os sistemas dinâmicos, tal como anteriormente (§1.1) justificámos.

3.3 Desenho de um Modelo de Supressão

No desenho do modelo de simulação [MS] procuramos identificar os atributos relevantes procurando valorizar aspectos que não são essenciais para evitar os problemas descritos por Ariely e Norton (2011) em «*From thinking too little to thinking too much*».

A primeira decisão que tomámos foi dividir os dias em duas classes de severidade de acordo com o número de ocorrências. A correlação entre número de ocorrências (e áreas ardidas) em dias meteorologicamente semelhantes (DSR), no que respeita às condições de ignição (e propagação do fogo) está bem estabelecida (AFN 2011f). Nas cinco classes em que se divide, excepto na de topo ($DSR \geq 20$), a quantidade de ocorrências diárias (e a área ardida) cresce com o índice (Gráfico 29 e Gráfico 30, página 57). Em particular no caso presente, 2010 não foi excepção, e a correlação entre as ocorrências e o DSR médio no distrito tem um coeficiente igual a 0,7699 (AFN 2011f).

Na análise dos dados, identificámos claramente uma classe acima de 100 ignições/dia (Ign/d) mas ficámos com dúvidas se abaixo, estaria uma única classe ou existiriam mais duas, com limite nas quarenta ignições. Numa das visitas ao CDOS do Porto [ENT], a diferença

operacional foi colocada em 100. Enquanto o número de ignições é inferior a esse valor, a estrutura não tem qualquer dificuldade em dar resposta e é indiferente tratarem-se de 30, 50 ou 90. Assim decidimos considerar duas classes de severidade, “Classe A” (≥ 100 Ign/d) e “Classe B” (< 100 Ign/d). No Gráfico 10 (abaixo) podemos ver a evolução do número de ignições ao longo da fase Charlie e a mudança de classe.

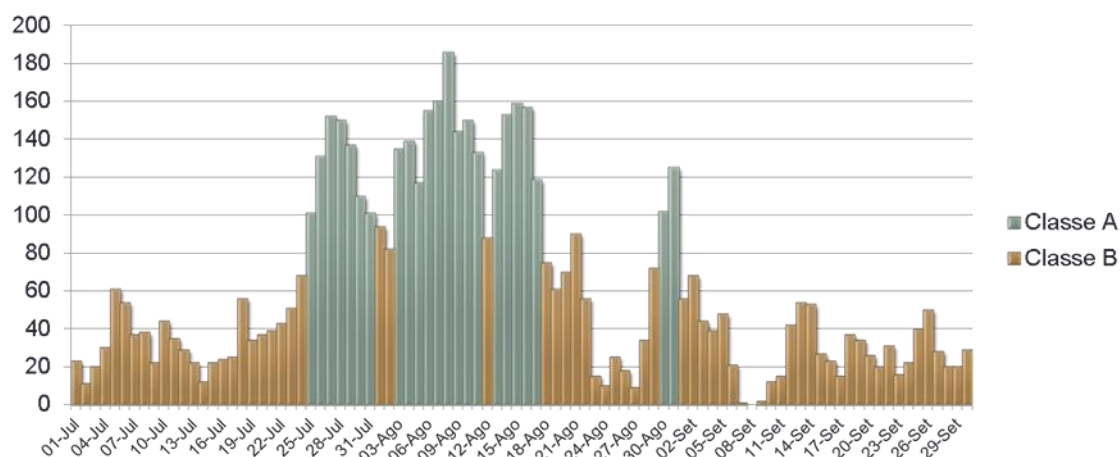


Gráfico 10 – Mudança de Classe ao longo da Fase Charlie.

Claro que este valor é válido nesta circunstância. Para as fases Alpha, Bravo, Delta e Echo o valor será outro dado que os recursos à disposição são diferentes (menores). De ano para ano e em cada região, este parâmetro também muda pelo mesmo motivo.

3.4 Chegadas de Novos Incêndios, Reacendimentos e Falsos Alertas

Cunningham e Martell (1973) mostraram que a ocorrência de ignições com origem humana, em cada dia e numa determinada zona, pode ser bem representada por uma distribuição de Poisson. Como salienta Oliveira (2005), «nos ecossistemas mediterrâneos, os incêndios têm um papel importante na ecologia vegetal e animal, e a sua total exclusão não é desejável». A média de 24.158 ignições verificadas nos últimos dez anos (Tabela 1, página 1) resulta de conflitos sociais e económicos, das tensões e conflitos entre as zonas agrícolas ou de pastorícia e os territórios florestais, e principalmente no interface entre as áreas urbanas e as áreas rurais (Oliveira 2005).

A elevada proporção de incêndios provocados intencionalmente com intuito criminoso, é uma característica perturbadora e que distingue o caso português (Beighley and Hyde 2009) e começa a ser oficialmente admitida (AFN 2011h). O seu valor (Incendiarismo; Tabela 8, página 58) foi de 24% entre as causas dos incêndios investigados pela GNR em 2010. As políticas inapropriadas de uso da terra (por exemplo o uso de “queimas” e “queimadas”) anteriormente referidas, acrescentam mais 27% (Negligente), totalizando 52% com origem humana. Em 47% dos casos não foi possível determinar a causa e só foram detectados 143 incêndios (1%) com origem natural.

Com o alargamento do perímetro da investigação, de cerca de 20% das ocorrências no início da década, até aos 61.4% do ano passado, a proporção entre as causas tem-se mantido constante (ENT). O que justifica induzir, primeiro, que os incêndios não investigados têm a mesma proporção de causas que os investigados, e segundo, que nos casos em que não se conseguiu apurar a causa essa proporção também é idêntica. Esta espécie de “princípio da estabilidade das causas” (ENT; ver Gráfico 11 na página seguinte) pode ser observada, por exemplo, num estudo feito ao longo de dezassete anos na Nova Zelândia (Anderson, Doherty,

and Pearce 2008) e Oliveira (Oliveira 2005) refere-o implicitamente quando afirma que «97% das ignições são causadas por seres humanos, e os incêndios tornam-se catástrofes de enormes dimensões que ninguém deseja», referindo-se aos 25 anos anteriores. Aplicando-o às 22.026 ocorrências de fogachos e incêndios no ano passado, conclui-se que em 98% dos casos, a origem é atribuível à acção humana.

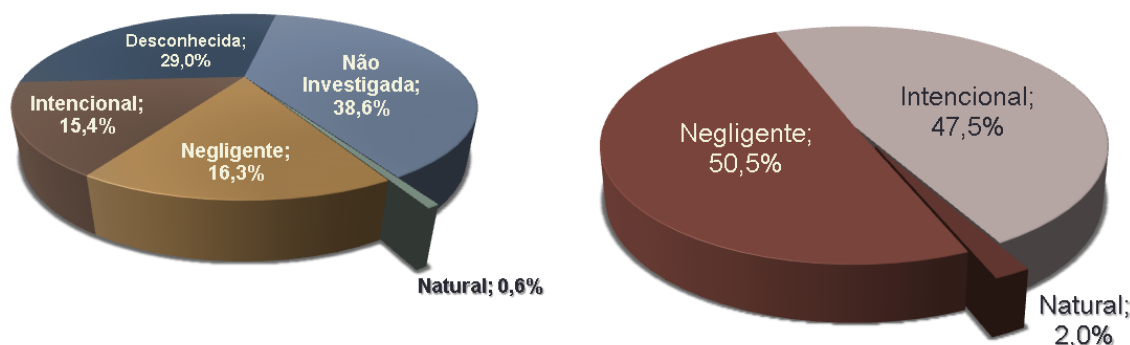


Gráfico 11 – “Princípio da estabilidade das Causas” aplicado às causas apuradas em 2010.

Parece razoável admitir que as ignições com origem natural (2%) também seguem uma distribuição de probabilidade de Poisson (Bookbinder and Martell 1979). Como essa propriedade é preservada pela soma de variáveis independentes, resulta que as ignições no seu conjunto surgem segundo um processo poissoniano.

Como se verifica na análise dos dados que o número de ignições varia acentuadamente ao longo do dia, tal como em (Bookbinder and Martell 1979) e recomendado sempre que a oscilação é superior a 50% (Rossetti 2010), assumimos uma taxa de chegada variável com o tempo, considerando intervalos de uma hora. Um processo de Poisson não estacionário (NSPP) que foi implementado no ®ARENA seguindo (Kelton, Sadowski, and Swets 2010), um dos dois métodos alternativos apresentados por Rossetti (2010).

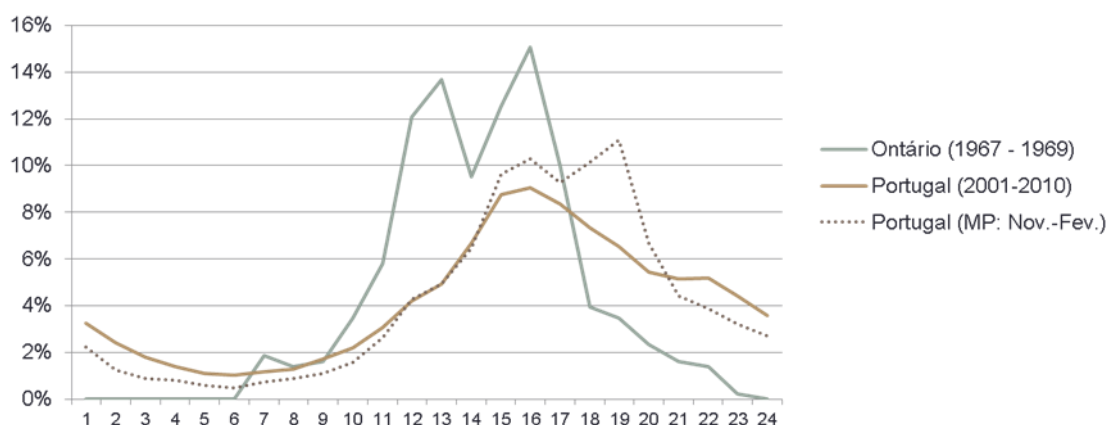


Gráfico 12 – NSPP em forma de “camelo” e em forma de “dromedário” (24h).

A título de curiosidade, mostramos no Gráfico 12 (acima) o aspecto da variação das chegadas ao longo do dia. Representamos os dados de dois anos em Ontário (Bookbinder and Martell 1979), e a última década em Portugal no mesmo período, apenas considerando os meses mais frios (Novembro a Fevereiro). Nota-se que a forma de camelo em Ontário é visível em Portugal nos meses mais frios, embora mais ténue. No verão, a forma assemelha-se a um dromedário. É possível que a deslocação “para a frente” em ambos os casos seja devida a

diferença entre a hora oficial e a hora do sol. Será que a diferença está relacionada com a temperatura (Ontário situa-se um pouco mais a norte, é mais continental e não tem o beneplácito da corrente ascendente do Atlântico Norte), ou estará relacionada com o facto de haver mais fogos com origem natural (45%) tal como em Portugal nos meses mais frios? Terá a pegada humana uma forma de dromedário? É uma questão que fica em aberto.

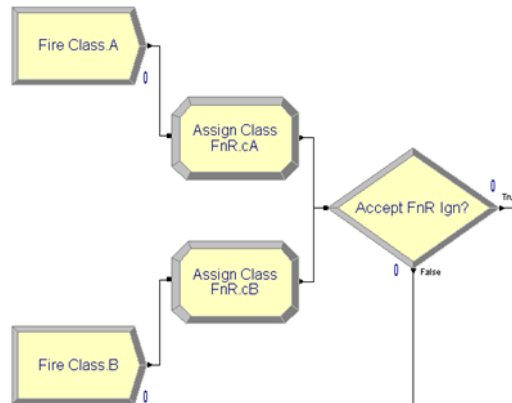


Ilustração 4 – Modelação das “chegadas”.

Como temos duas classes de severidade, usamos dois módulos “*create*” para implementar o NSPP para cada uma delas, com o tempo entre chegadas regulado por um “*schedule*”, onde estão as médias correspondentes aos vinte e quatro intervalos horários. Com o módulo “*assign*”, associamos à entidade a sua classe. Uma vez que ao longo da simulação as entidades estão continuamente a ser criadas, usamos um módulo “*decide*” cuja missão é deixar passar as que correspondem à classe do dia e rejeitar as restantes, enviando-as para um módulo “*dispose*”. Isto é feito com uma condição com duas alternativas, onde se compara o atributo da entidade com a variável “*classe_day*”. Essa variável indica a severidade de cada um dos noventa e dois dias da simulação e é regulada de uma forma que será exposta mais à frente (página 21), quando descrevermos a lógica de controlo; Tal como a função das variáveis “*Ignitions_Per_Arrival*” e “*Max_Arrivals*”, neste caso usadas para pôr termo à simulação. Com este triângulo, conseguimos contornar a limitação do NSPP embutido no ®ARENA que não permite usar uma expressão directamente no módulo “*create*” para saltar entre dois “*schedules*” de acordo com o dia; embora dentro do “*schedule*” isso seja possível, é inoperante, já que ele só é lido uma vez e no início da simulação. O método de criação que acabámos de descrever, é similar, no caso dos incêndios nascentes, reacendimentos e dos FA.

Neste modelo, usámos dois tipos de recurso (Fire_Engine_Team, Helicopter), cinco entidades (Fire, Reignition, FA, FFA e Day), quatro atributos, sete *schedules*, quarenta variáveis e vinte e uma expressões. Estão descritos no APÊNDICE A (página 43) onde, também colocámos uma visão geral do modelo, para visualizar a relação entre as grandes áreas que descrevemos nas próximas secções. O ficheiro .*doe* e outros conteúdos pertinentes, encontram-se disponíveis no site <http://paginas.fe.up.pt/~meg09031/>. Como esta dissertação foi desenvolvida no âmbito de um projecto internacional (FIRE ENGINE), optou-se pela utilização do inglês dentro do próprio ®ARENA.

3.5 O Ataque Inicial, Ampliado e a Mobilização de Meios

Em termos gerais, esta parte do modelo contempla a definição da duração do incêndio, o ataque inicial e o ataque estendido [AA] quando existe. Aplica-se aos incêndios nascentes e de forma similar aos RCD, pelo que faremos apenas a descrição do primeiro caso.

Quando uma entidade passa pelo módulo “Wildfire Length” (do tipo “assign”; Ilustração 5) já com um atributo conferido (“class”), recebe os seus dois últimos e actua sobre uma variável. O primeiro atributo, “ServiceTime”, estabelece a duração do incêndio através da leitura de uma expressão (uma distribuição de probabilidade). O segundo e último, “sH”, serve para facultar o recurso a um Helicóptero, caso esteja disponível. Para esse efeito é usada “NR”, uma variável interna do @ARENA que informa sobre a quantidade de recursos ocupados. Como no distrito só há um helicóptero (na base de Baltar), basta usar a expressão “1 – NR (Helicopter)”. Se o helicóptero estiver a ser usado no combate a algum incêndio (em algum dos processos) o resultado é zero, e esse incêndio será tratado no módulo seguinte sem recurso a esse meio aéreo. Basta para tal, colocar “sH” como sendo a quantidade de “helicópteros” a utilizar, se valer zero, nenhum é usado.

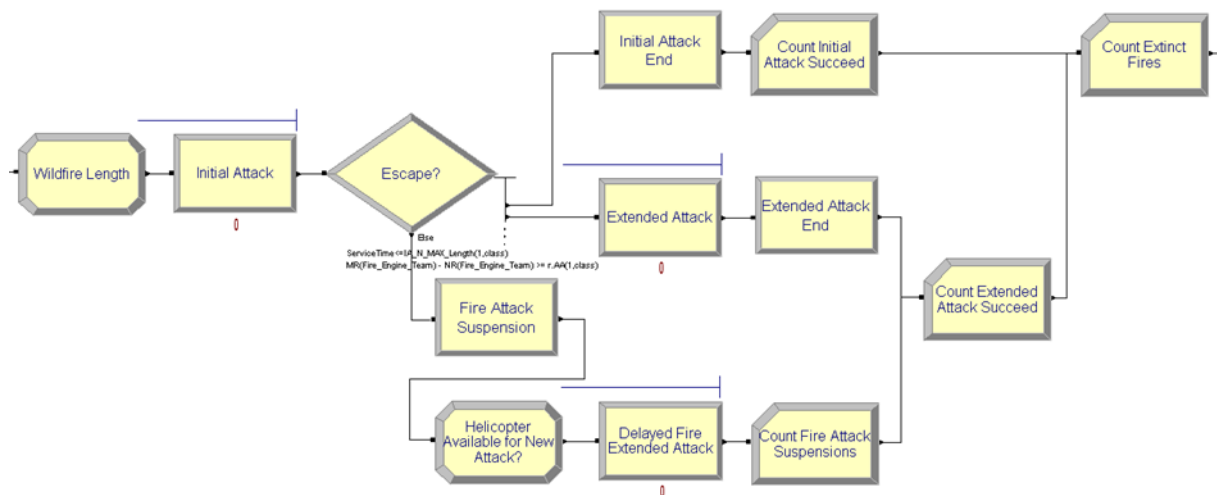


Ilustração 5 – Modelação do Ataque Inicial e do Ataque Estendido.

Desta forma consegue-se evitar que a entidade fique em fila de espera até que exista um helicóptero disponível para a atender; de facto, no @ARENA não existem recursos “não obrigatórios”, isto é, a partir do momento em que um recurso é associado a um processo, a entidade só é atendida quando ele estiver disponível – o que não é desejável, nem corresponde à realidade. Sendo verdade que em situação extrema podem acudir meios aéreos com base em distritos adjacentes (por exemplo, Fafe ou de Vale de Cambra), como tal não é frequente [ENT] nem temos dados sobre isso, não considerámos essa hipótese.

Finalmente, a variável “Total_WIP”, que é usada para contar as entidades em processamento, é incrementada de um valor. Veremos mais à frente como será usada para parar a simulação.

O IA é então desencadeado no módulo seguinte, um “process” com uma acção “Seize delay” e com dois géneros de recursos, terrestre (Fire_Engine_Team) e aéreo (Helicopter). As quantidades são especificadas pela variável “Wildfire_Length(1,class)” e pelo atributo “sH”, como atrás referimos. Neste como em todos os processos, a prioridade de utilização de cada recurso é a mesma e a disciplina da fila é FIFO; pelo que não o voltaremos a referir. O “delay” é do tipo expressão e a unidade é dias. Essa expressão é dada por “MN(ServiceTime,IA_N_MAX_Length(1,class))”, o que significa que a duração do processo é o tempo mínimo entre a duração previamente atribuída à entidade (ServiceTime) e a duração máxima de um IA, definida na variável “IA_N_MAX_Length(1,class)”. Deste modo, se a duração for superior ao tempo máximo, a entidade passa para um processo que simula o ataque ampliado.

Através de um módulo “*decide*” (“*Escape?*”) com três vias é conseguido este desiderato. Se o tempo de duração atribuído à duração do incêndio for inferior ao tempo máximo que pode durar um IA “ $\text{ServiceTime} \leq \text{IA_N_MAX_Length}(1, \text{class})$ ”, então o incêndio está extinto e a entidade é dirigida a um módulo “*release*” onde são libertados os recursos que tomara. Caso contrário, passa para ataque ampliado e são necessários mais recursos.

Neste momento é preciso verificar se esses recursos existem, ou seja, precisamos de saber se os recursos máximos disponíveis (a capacidade “MR”) menos aqueles que neste momento estão ocupados (“NR”) são maiores que os recursos requeridos por um AA ($r.AA(1, \text{class})$); Se assim for “ $\text{MR}(\text{Fire_Engine_Team}) - \text{NR}(\text{Fire_Engine_Team}) \geq r.AA(1, \text{class})$ ”, o incêndio entra então em ataque estendido, recebendo os mencionados recursos adicionais. O que acontece no primeiro módulo desta segunda via (“*Extended Attack*”). Trata-se de um “*process*” do tipo *seize delay* com uma duração de “ $\text{ServiceTime} - \text{IA_N_MAX_Length}(1, \text{class})$ ”. Uma vez concluído este processo, o módulo seguinte (*release*), que chamamos de “*Extended Attack End*” serve para libertar todos os meios empenhados, os aéreos (Helicopter, sH) e os terrestres “ $r.IA(1, \text{class}) + r.AA(1, \text{class})$ ”.

Se a última condição não se verificar, todos os meios empenhados neste incêndio no início do IA são libertados para outras ocorrências e este incêndio continua a lavar, aguardando (no módulo seguinte) que existam recursos suficientes. Se não tivéssemos colocado esta terceira alternativa, o modelo não funcionaria numa situação extrema de escassez de recursos.

Em teoria, o IA requer o despacho de dois ECIN e um ELAC [ENT]; suponhamos que o AA requer seis meios adicionais, perfazendo um total de nove *Fire Engine Teams*. Imaginemos agora que só existem dois meios não ocupados. Qualquer incêndio que passe a AA ou uma nova ocorrência (que requer o IA) fica em espera, aguardando recursos disponíveis. Se já não existirem incêndios em AA que venham a libertar meios, pode acontecer que o incêndio seguinte a sair de IA entre em AA; sendo assim, não liberta recursos e vai para a fila; entretanto, não está nenhum incêndio em processamento e mais nenhum incêndio pode começar a ser processado; em consequência o modelo de simulação “congela”, acumulando entidades em fila indefinidamente, com todos os recursos “presos” a incêndios à espera de entrar em ataque ampliado.

Embora esta situação não seja realista (começa a acontecer, no caso presente, quando os recursos são da ordem de oitenta e cinco a noventa e pouco – depende da sequência de números pseudo-aleatórios usados na replicação), é inconveniente dado que importa testar o sistema em situações limite. Por outro lado, aceitá-lo, corresponde a aceitar que estando equipas a combater num incêndio que não controlado, entra em ataque estendido, fiquem paradas sem fazer nada, uma vez que sozinhas não o conseguem resolver e não há outros combatentes disponíveis para vir ajudar. Neste contexto, a terceira via do *decide* “*Escape?*” materializa uma nova regra de despacho, a saber: «Quando um ataque inicial não for bem-sucedido, as equipas afectas ao seu combate devem abandonar imediatamente esse teatro de operações, e ir em socorro dos seus companheiros, contribuindo com a sua energia para a resolução efectiva de outras ocorrências».

Assim que existam recursos disponíveis em suficiência, isto é, iguais a “ $r.IA(1, \text{class}) + r.AA(1, \text{class})$ ”, a entidade é processada no módulo “*Delayed Fire Extended Attack*”. Trata-se de um *process* do tipo *seize delay release*, antecedido pela verificação de disponibilidade do meio aéreo, o *assign* “*Helicopter Available for New Attack?*”. Para terminar a descrição da forma como foi modelado o combate aos incêndios nascentes, resta acrescentar que se conta o número de incêndios extintos durante o IA (Count Initial Attack Succeed), aqueles que foram

abandonados à força da natureza, até existir capacidade para os enfrentar (Count Fire Attack Suspensions), todos os que entraram em AA (Count Extended Attack Succeed), e no seu conjunto, todos os incêndios extintos (Count Extinct Fires).

3.6 Falsos Alarmes

A modelação dos falsos alarmes é feita através dos falsos alertas (Ilustração 6) e dos falsos “falsos alarmes” (Ilustração 7). Como não existe algo equivalente ao “ataque ampliado” que pode ocorrer num incêndio nascente e num reacendimento, é bastante elementar.

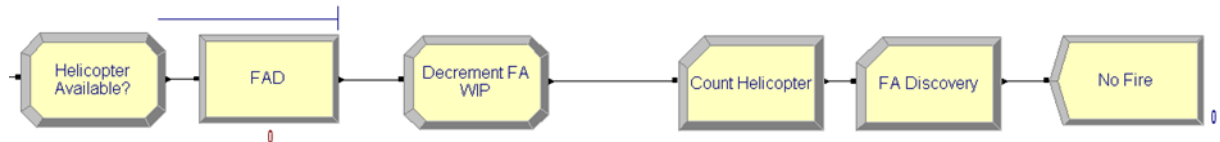


Ilustração 6 – Modelação dos Falsos Alertas.

No primeiro caso, trata-se de deslocar os meios para o local da suposta ocorrência tal como se de um incêndio verdadeiro se tratasse. Uma vez nesse local, os combatentes têm de confirmar com rigor que nada está a arder, investigando as imediações e eventualmente indagando junto das populações. Só podem regressar ao quartel com a consciência tranquila, depois de assegurarem sem margem para dúvida, que se trata efectivamente de um FA. Temos portanto a viagem de ida e volta e o tempo de investigação. Já descrevemos as “chegadas” anteriormente (§3.4, página 16), basta agora verificar se existe algum meio aéreo disponível, processar a entidade (*seize, delay, release*) e decrementar o WIP. Como estamos particularmente interessados em saber as dispendiosas horas de voo desperdiçadas em vão, contamos o número de helicópteros utilizados (*record, count, sH*) e também o número de falsos alarmes, antes de enviar a entidade para um módulo *dispose*.

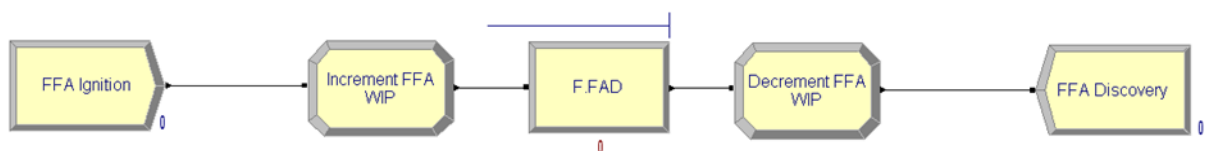


Ilustração 7 – Modelação dos falsos “Falsos Alarmes”.

Em relação aos falsos “falsos alarmes” (Ilustração 7), os meios do DCIF encontram efectivamente um incêndio mas não florestal, embora não sejam contabilizados nas contas oficiais, reduzem os recursos disponíveis [ENT] e devem ser considerados.

Como a base de dados [AFN-CDOS.p] contém consideravelmente menos informação sobre esta situação, optamos por desconsiderar a severidade do dia. Assim, há apenas um *schedule*, o WIP é incrementado e decrementado, logo que concluído o processamento (dependente de uma única distribuição); e a entidade é destruída no módulo *dispose* “FFA Discovery”.

3.7 Lógica de Controlo

Esta secção do modelo, destina-se a controlar a mudança de dia, a classe de severidade que lhe está associada e o término de criação de novas ignições. Começamos o módulo *create* (“Day to Day”) que gera as entidades “day”, com tempo constante entre chegadas e ao ritmo de uma por dia.

No módulo *assign* “Class Assignment”, a variável “pointer” é incrementada num valor, e na variável “Day_Class” é guardado o valor de severidade desse dia (1 ou 2). Primeiro é calculado o mínimo (MN) entre “pointer” e “Max Pointer” (onde se guarda o número de dias, neste caso da fase Charlie, 92). Assim, e uma vez que a variável CLS apenas guarda a classe de severidade correspondente a cada um dos 92 dias do período considerado, asseguramos que não ocorrerá o valor 93. Podemos finalmente atribuir a cada dia a respectiva classe, tomando para “Day_Class” o valor de “CLS(MN(pointer,Max_Pointer))”.

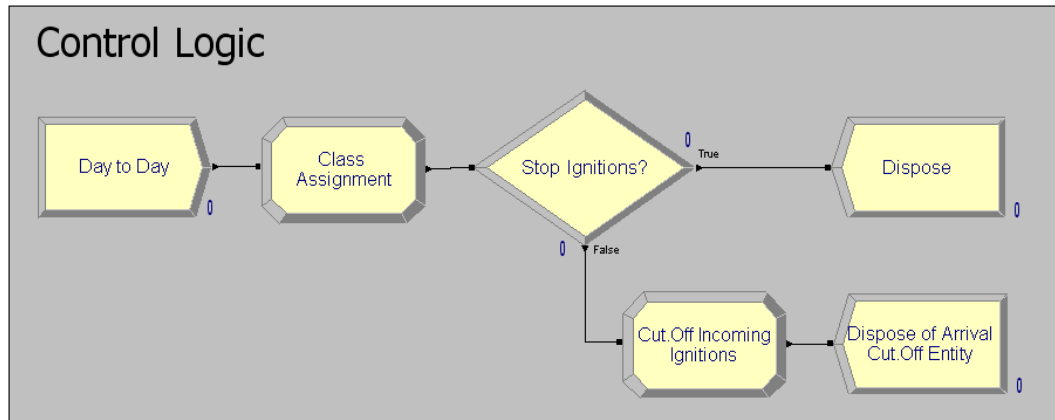


Ilustração 8 – Implementação da lógica de controlo.

Seguidamente, usamos o módulo *decide* “Stop Ignitions?” (Ilustração 8), que assegura que enquanto o valor de “pointer” for menor ou igual a “Max_Pointer”, nada acontece e a entidade “day” é destruída em “Dispose”. Caso contrário, esta decisão com duas vias, determina que a entidade vá para o módulo *assign*, “Cut.Off Incoming Ignitions”, antes de desaparecer em “Dispose of Arrival Cut.Off Entity”.

Este último módulo *assign*, altera o valor inicial, absurdamente elevado (999.999.999), de Max_Arrivals para 1; garantindo que não é criada mais nenhuma ignição. Entretanto, como no ARENA, no mesmo passo em que ocorre uma “chegada” é logo programada a “chegada” seguinte; e é certo que houve alguma “chegada”, antes da mudança de “Max_Arrivals” para 1 interromper a geração de novas chegadas em todos os módulos *create*; assim sabemos que está agendada para algum momento posterior, uma última “chegada”; a forma de o impedir, é alterar em simultâneo, também o valor de “Ignitions_Per_Arrival” (de 1) para 0; assim, asseguramos que nessa última “chegada” são criadas zero entidades, não ocorrendo assim mais nenhuma ignição (Kelton, Sadowski, and Swets 2010).

3.8 Perdas de Valor, Custos e Emissões de CO₂

Nesta fase final, os ramos com origem nos incêndios nascentes e nos reacendimentos, convergem num único. Antes de entrar na última sequência de cálculos, são dados dois passos. Em “Count Total Fires Extinguish”, as entidades são somadas à medida que vão passando, para se contabilizar o número total de ocorrências resolvidas. Finalmente, em “Decrement Fire WIP”, a variável “Total_WIP” é decrementada.

Com base numa aproximação quadrática ou linear, nos dois módulos seguintes, calculamos tanto a área ardida de povoamentos (“AREA BURNED STANDS”) como a florestal (“AREA BURNED FOREST”), que além dos povoamentos, inclui os matos. Este cálculo é baseado no tempo de duração do incêndio; o tempo que demorou a apagar (processamento) mais, eventualmente, o tempo em que o incêndio foi evoluindo enquanto aguardava que chegassem

os meios de combate (em fila de espera). Estas duas funções, são “Area_Stands” e “Area_Forest”, e cada uma delas é na realidade, uma expressão, que também depende da classe de severidade. No próximo capítulo, quando tratarmos das parametrizações do modelo, voltaremos a este tema.

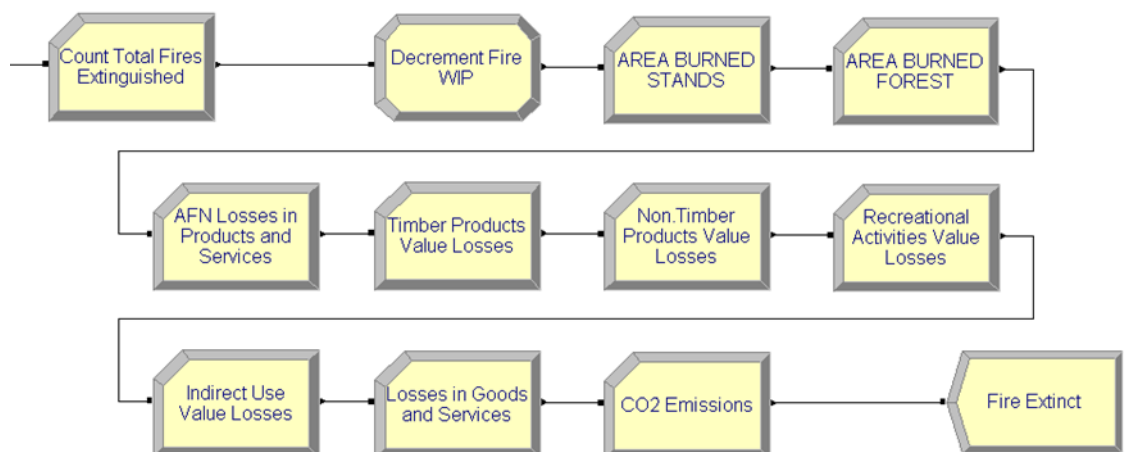


Ilustração 9 – Área Ardida, Perdas de Valor e Emissões de CO₂.

Seguidamente calculámos as perdas de valor (€) de duas formas. Usando o método da AFN (2011f) em “AFN Losses in Products and Services”, para obter a perda de valor em bens e serviços gerados nas áreas ardidas; e o descrito no PNDFCI (ISA 2005c) em “Losses in Goods and Services”.

	Name	Rows	Columns	Data Type	File Name	Expression Values
1	Wildfire_Length	1	2	Native		2 rows
2	FA_Discovery_Length	1	2	Native		2 rows
3	Reignition_Length	1	2	Native		2 rows
4	r.IA	1	2	Native		2 rows
5	r.AA	1	2	Native		2 rows
6	Reignition.r.IA	1	2	Native		2 rows
7	Reignition.r.AA	1	2	Native		2 rows
8	FA.r	1	2	Native		2 rows
9	Area_Stands			Native		1 row
10	Area_Forest			Native		1 row
11	At			Native		1 row
12	IA_N_MAX_Length	1	2	Native		2 rows
13	IA_R_MAX_Length	1	2	Native		2 rows
14	FFA.r			Native		1 row
15	FFA_Discovery_Length			Native		1 row
16	Losses_Products_Services_AFN			Native		1 row
17	CO2_Emissions			Native		1 row
18	Timber_Products_Value_Losses			Native		1 row
19	Non_Timber_Products_Value_Losses			Native		1 row
20	Recreational_Activities_Value_Losses			Native		1 row
21	Indirect_Use_Value_Losses			Native		1 row

Expression Values	
1	2
CONT (0.000, 0.000, 0.184, 0.050, 0.567, 0.100, 0.727, 0.150, 0.808, 0.200, 0.856, 0.250, 0.887, 0.300, 0.898, 0.350, 0.906, 0.400, 0.921, 0.450, 0.934, 0.500, 0.942, 0.550, 0.955, 0.600, 0.955, 0.650, 0.955, 0.700, 0.961, 0.750, 0.966, 0.800, 0.971, 0.850, 0.971, 0.900, 0.974, 0.950, 0.976, 1.000, 0.979, 1.050, 0.982, 1.100, 0.982, 1.150, 0.984, 1.200, 0.990, 1.250, 0.990, 1.300, 0.990, 1.350, 0.992, 1.400, 0.995, 1.450, 0.995, 1.500, 0.997, 1.550, 0.997, 1.600, 0.997, 1.650, 0.997, 1.700, 0.997, 1.750, 0.997, 1.800, 0.997, 1.850, 1.000, 1.900, 1.000, 1.950, 1.000, 2.000)	LOGN(0.1096, 0.08878)

Ilustração 10 – Expressões.

Para obter este último, calculamos previamente e seguindo a mesma fonte, quatro valores parciais e sempre recorrendo a expressões (Ilustração 10), “Timber_Products_Value_Losses”, “Non_Timber_Products_Value_Losses”, “Recreational_Activities_Value_Losses”, e por fim, “Indirect_Use_Value_Losses”; que nos informam respectivamente, sobre as perdas de valor dos produtos lenhosos e não lenhosos, actividades de recreação e de uso indirecto.

Por último, em “CO2_Emissions”, estimamos as emissões de CO₂ com origem nas áreas ardidas, seguindo a abordagem oficial da AFN (2011f). Esse cálculo é feito considerando as distintas emissões de CO₂ que têm por origem povoamentos ou matos. Subtraindo à área florestal ardida, a de povoamentos destruídos (ambas conhecidas), obtemos a área de matos queimada (em *ha*, como sempre que se trata de área, ao longo deste modelo).

Num artigo (Narayan et al. 2007) muito citado, onde se demonstra que o tratamento da floresta com fogo controlado pode desempenhar um papel importante na redução de emissões de CO₂, principalmente em países do sul da Europa – com destaque para Portugal, pelos piores motivos; é efectuada a comparação entre as emissões que resultam deste tratamento (matos, essencialmente) e as que não são emitidas, na sequência da sua aplicação. Com esse desiderato, a investigação objectiva o valor das emissões por combustão de povoamentos e de matos; e são precisamente estes, os factores que permitem (também na simulação) efectuar o cálculo, que aplicado aos 92 dias que estamos a estudar, resulta só para o distrito do Porto e em 2010, numa emissão de 69 mil toneladas de CO₂. Além das vantagens já enunciadas (§1.1, página 1) a respeito deste tratamento, ficamos a saber que também contribui para mitigar este problema pernicioso.

Uma vez desencadeados todos estes cálculos, a entidade desempenhou a sua missão e é destruída no módulo do tipo *dispose* “Fire Extinct”. Assim, para concluir a descrição do modelo, falta explicar como termina a simulação. Uma forma óbvia, seria especificar à partida (em *Run Setup*) que a duração da replicação é de 92 dias. Como queremos testar os limites deste modelo de supressão, seguindo essa via, à medida que fossemos reduzindo os recursos, aumentaria o número de incêndios ainda a lavrar, no momento de paragem, exactamente à meia-noite de 30 de Setembro.

Como a nossa “lógica de controlo” garante que deixam de surgir (apenas na simulação, infelizmente) novas ignições nesse momento, optamos por uma condição terminal

$$TNOW \geq 132.480 \ \&\& \ Total_WIP = 0.$$

A primeira condição da conjunção implica que a replicação só pare após 92 dias, uma vez que a nossa unidade de tempo base é o minuto; e a segunda assegura que isso só pode acontecer quando já não existir nenhuma entidade em processamento (ou em fila de espera). Em consequência, a simulação só termina quando todos os incêndios estiverem extintos.

3.9 Flexibilidade

Terminamos este capítulo, salientando que seguimos a boa prática de não deixar nenhum parâmetro dentro de algum módulo. Por exemplo, se desejarmos usar este modelo num período com diferente extensão, basta alterar o valor de “Max Pointer” para a nova duração (em dias), e na tabela CLS, especificar a classe correspondente a cada um deles. Se a intenção for estudar a fase Charlie noutra região e/ou noutro ano, basta actualizar a classe de severidade de cada dia, na segunda coluna da tabela CLS.

Desde a capacidade de poder ligar e desligar classes de dias para mais facilmente se poder testar o modelo, até à variável avançada (expressão) “At”, que condensa num único parâmetro a duração de um incêndio e facilita a alteração de muitas outras expressões, passando pelas distribuições, e demais parâmetros específicos da região/ano a que o modelo for aplicado, tudo figura fora dos módulos, em variáveis ou expressões.

	Name	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Report Statistics
1	%N			Real	System		1 rows	☐
2	%FA			Real	System		1 rows	☐
3	%R			Real	System		1 rows	☐
4	A_on			Real	System		1 rows	☐
5	B_on			Real	System		1 rows	☐
6	Day_Class			Real	System		1 rows	☐
7	pointer			Real	System		0 rows	☐
8	CLS	92		Real	System		63 rows	☐
9	Ign_FA_cA	24		Real	System		24 rows	☐
10	Ign_FA_cB	24		Real	System		24 rows	☐
11	Ign_R_cA	24		Real	System		24 rows	☐
12	Ign_R_cB	24		Real	System		24 rows	☐
13	Ign_N_cA	24		Real	System		24 rows	☐
14	Ign_N_cB	24		Real	System		24 rows	☐
15	k_r_IA	1	2	Real	System		2 rows	☐
16	k_r_AA	1	2	Real	System		2 rows	☐
17	k_Reignition.r_IA	1	2	Real	System		2 rows	☐
18	k_Reignition.r_AA	1	2	Real	System		2 rows	☐
19	k_FA.r	1	2	Real	System		2 rows	☐
20	p.r			Real	System		1 rows	☐
21	k_IA_N_MAX.Length	1	2	Real	System		2 rows	☐
22	k_IA_R_MAX.Length	1	2	Real	System		2 rows	☐
23	p_IA_N_MAX.Length	1	2	Real	System		2 rows	☐
24	p_IA_R_MAX.Length	1	2	Real	System		2 rows	☐
25	%FFA			Real	System		1 rows	☐
26	k_FFA.r			Real	System		1 rows	☐
27	Ign_FFA	24		Real	System		24 rows	☐
28	Ha_Losses_Products_Services			Real	System		1 rows	☐
29	CO2_Factor_VldFire_Stands			Real	System		1 rows	☐
30	CO2_Factor_Prescribed_Fire			Real	System		1 rows	☐
31	Max_Arrivals			Real	System		1 rows	☐
32	Ignitions_Per_Arrival			Real	System		1 rows	☐
33	Max_Pointer			Real	System		1 rows	☐
34	Class_A			Real	System		1 rows	☐
35	Class_B			Real	System		1 rows	☐
36	Total_VMP			Real	System		1 rows	☐
37	Ha_Losses_Timber_Products_Value			Real	System		1 rows	☐
38	Ha_Losses_Non_Timber_Products_Value			Real	System		1 rows	☐
39	Ha_Losses_Recreational_Activities_Value			Real	System		1 rows	☐
40	Ha_Losses_Indirect_Use_Value			Real	System		1 rows	☐

Initial Values	
1	0.739130434782
2	0.434782608695
3	0.391304347826
4	0.260869565217
5	0.434782608695
6	0.260869565217
7	0.217391304347
8	0.304347826086
9	0.347826086956
10	0.478260869565
11	0.304347826086
12	0.478260869565
13	0.826086956521
14	0.913043478260
15	0.913043478260
16	0.739130434782
17	0.869565217391
18	0.608695652173
19	0.739130434782
20	0.260869565217
21	0.608695652173
22	0.869565217391
23	0.826086956521
24	0.739130434782

Ilustração 11 – Variáveis.

Se demos, a propósito dos cálculos finais do modelo, uma visão geral da tabela de expressões (Ilustração 10, página 23) e a ilustração acima, corresponde à das variáveis, é no apêndice A (página 43) que se encontra a descrição exhaustiva de ambas, assim como das entidades, atributos, calendários e recursos utilizados.

Por último, deixamos uma nota sobre o facto deste modelo do sistema de supressão não contemplar o *delay* entre um incêndio nascente e o eventual reacendimento, aí representado. Essa decisão foi tomada em face do facto de estarmos a tratar um período de 92 dias e onde o *delay* médio é de quase quatro dias.

4 Parametrização do Modelo de Simulação

Uma vez construído o modelo é necessário parametrizá-lo em função da região escolhida, que neste caso é o distrito do Porto, em 2010 e durante o período crítico (fase Charlie).

Tabela 4: Parâmetros essenciais do modelo.

Chegadas	Incêndio Novo	Classe A	24	parâmetros	(hora a hora)
		Classe B	24	parâmetros	(hora a hora)
	Reacendimento	Classe A	24	parâmetros	(hora a hora)
		Classe B	24	parâmetros	(hora a hora)
	Falso Alerta	Classe A	24	parâmetros	(hora a hora)
		Classe B	24	parâmetros	(hora a hora)
	FFA	Uniforme	24	parâmetros	(hora a hora)
Durações	Incêndio Novo	Classe A	1	parâmetro	Dist. Empírica
		Classe B	1	parâmetro	Dist. Empírica
	Reacendimento	Classe A	1	parâmetro	Dist. Empírica
		Classe B	1	parâmetro	Dist. Lognormal
	Falso Alerta	Classe A	1	parâmetro	Dist. Lognormal
		Classe B	1	parâmetro	Dist. Lognormal
	FFA	Uniforme	1	parâmetro	Dist. Lognormal
Ataque Inicial (fim)	Incêndio Novo	Classe A	2	parâmetros	fim, acerto
		Classe B	2	parâmetros	fim, acerto
	Reacendimento	Classe A	2	parâmetros	fim, acerto
		Classe B	2	parâmetros	fim, acerto
Recursos	Incêndio Novo	Classe A	2	parâmetros	(AI / AE)
		Classe B	2	parâmetros	(AI / AE)
	Reacendimento	Classe A	2	parâmetros	(AI / AE)
		Classe B	2	parâmetros	(AI / AE)
	Falso Alerta	Classe A	1	parameter	não existe AE
		Classe B	1	parameter	não existe AE
	FFA	Uniforme	1	parameter	não existe AE
Área Ardida	Povoamentos	Classe A	1	parâmetro	fórmula
		Classe B	1	parâmetro	fórmula
	Floresta	Classe A	1	parâmetro	fórmula
		Classe B	1	parâmetro	fórmula

A Tabela 4 mostra os aspectos essenciais, considerados nas cinco secções seguintes. Sempre que o processo de parametrização for análogo, descreveremos como antes, apenas o caso dos incêndios nascentes, em detrimento dos reacendimentos.

Para efectuar as parametrizações seguintes é preciso, antes de passar às tabelas dinâmicas, efectuar algum trabalho na folha de cálculo (AFN 2011g), criando novas colunas; entre as quais destacamos: a partição dos falsos alarmes em falsos alertas e falsos “falsos alarmes”; a discriminação da fase em que ocorreu cada incêndio; do seu tipo (agrícola, fogacho, florestal ou queimada); o cálculo da sua duração conhecida (data-hora de extinção menos data-hora do alerta); a identificação das ocorrências com dados horários incompletos ou incongruentes; o número de ignições em cada dia; e finalmente, a sua classe de severidade.

4.1 Distribuição das Chegadas

Uma vez temperada a folha de cálculo, estamos prontos para começar a parametrizar o modelo de simulação, o que no caso das “chegadas”, é muito simples. Basta considerar as ignições ocorridas ao longo do período, somadas em quarenta e oito parciais – vinte e quatro

por cada classe de severidade, e dividir cada um desses valores pelo número de dias da classe correspondente; não esquecendo que dias com zero ocorrências são contados na "classe B" (como foi o caso da memorável quarta-feira de 8 de Setembro de 2010, o único dia durante o período crítico desse ano, em que não houve nenhuma ocorrência).

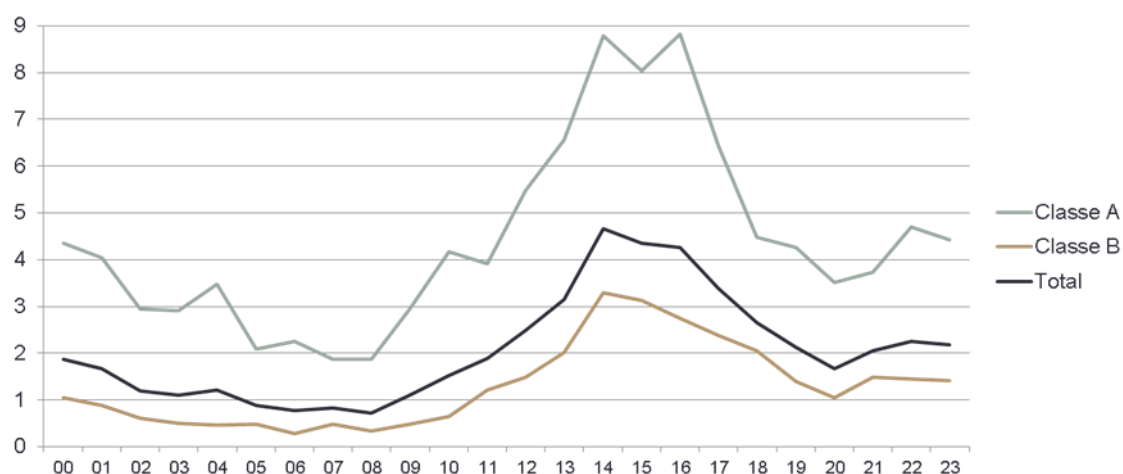


Gráfico 13 – Incêndios Nascentes, 2010, Fase Charlie, Porto

Representamos no gráfico acima, o aspecto da variação das “chegadas” ao longo do dia, no caso dos incêndios nascentes, e no seguinte (abaixo) a homóloga dos reacendimentos.

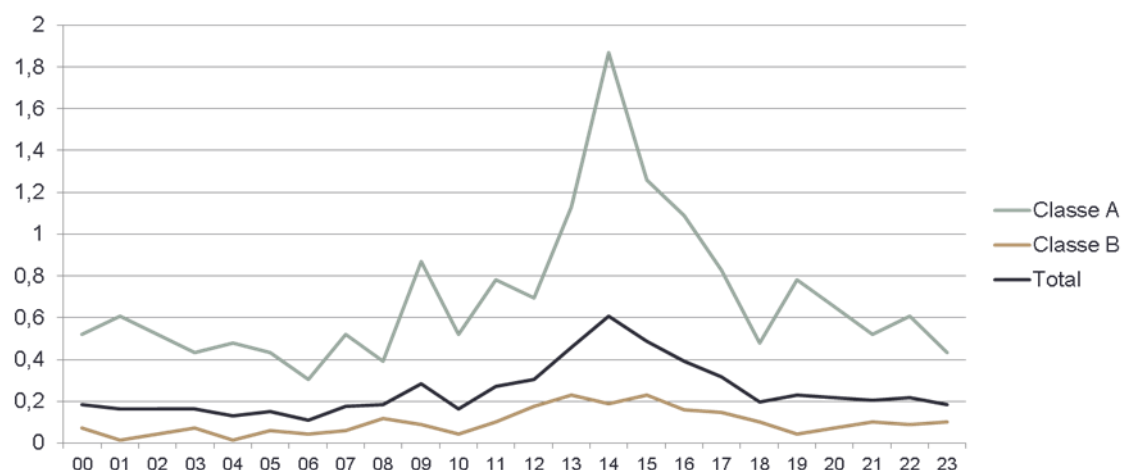


Gráfico 14 – Reacendimentos, 2010, Fase Charlie, Porto

Uma vez na posse destes quarenta e oito parâmetros, basta copiá-los para as tabelas “Ign_N_cA” e “Ign_N_cB” (ver página 44).

Vale a pena salientar que entre as 14 e as 15h, os RCD chegam a representar quase 1/5 das ignições correspondentes a novos incêndios (17,6%, com rigor) e que os FA apresentam uma flutuação de valores similar à encontrada por Tu (2002) que tal como a dos FFA, foi colocada no APÊNDICE B: Outras Parametrizações (Gráfico 24 – Falsos Alertas, 2010, Fase Charlie, Porto Gráfico 24 e Gráfico 25; página 48).

4.2 Distribuição das Durações

Para a especificação da duração associada a cada ignição, incluindo o tempo necessário à confirmação de um FA e ao atendimento de um FFA, usamos entre as distribuições disponíveis no ®Arena, aquela que mostrou melhor ajustamento, recorrendo a uma

distribuição empírica, sempre que a primeira foi rejeitada em algum dos testes de Kolmogorov Smirnov, Anderson Darling ou do Qui-quadrado.

Sempre que foi possível usar uma distribuição “clássica”, o melhor ajustamento foi sempre encontrado com a *lognormal*. Apesar de estarmos a falar de tempos de serviço, cabe referir que chegamos a considerar modelar a atribuição de recursos com uma distribuição e que também nesse caso, a *lognormal* foi sempre a que mostrou melhor ajustamento; talvez por ser entre as disponíveis no ®ARENA, aquela que tem a cauda mais alongada.

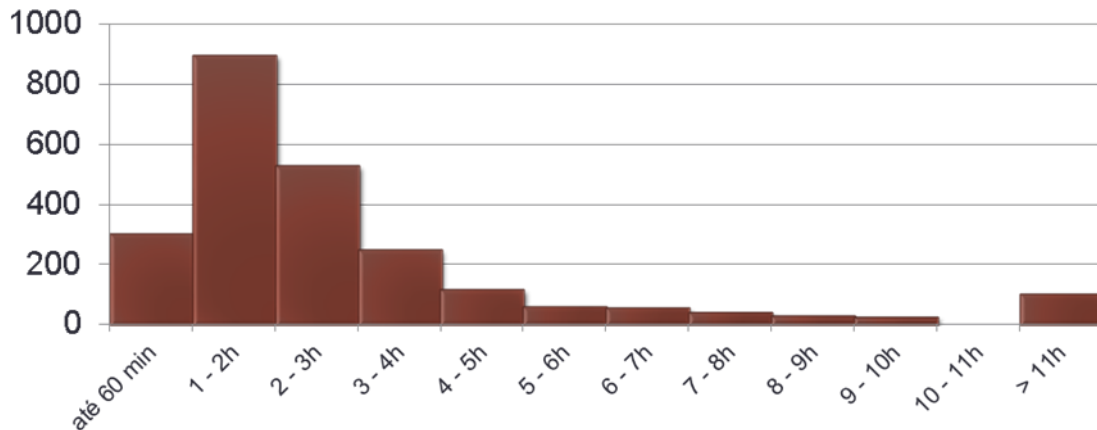


Gráfico 15 – Novos Incêndios: Classe B (histograma com o n.º de ocorrências).

Na página 48 e seguintes, podem ver-se alguns exemplos das funções de densidade de probabilidade utilizadas. Outra alternativa que não seguimos foi a de determinar as durações a partir de dados históricos, algo que também poderia ter sido feito com as “chegadas”, ao invés de um NSPP. Finalmente, não podemos deixar de referir que também em todos os casos, as distribuições de *Burr*, *Dagum*, e *Frechet*, mostraram sempre ser opções melhores.

4.3 O Ataque Inicial e o Ataque Ampliado

Uma vez que o sistema foi modelado estabelecendo à partida a duração do mesmo, logo no início do ataque inicial, é preciso definir o tempo máximo que sendo ultrapassado, decreta a passagem a ataque ampliado (ponto de corte). Neste aspecto foi essencial a ligação dos dados AFN-CDOS.p. Sabendo que as regras de despacho ditam que se enviem duas equipas ECIN e um meio aéreo, sempre que disponíveis, para o ataque inicial [ENT]; investigamos a duração média de todas as ocorrências para onde foram deslocados no máximo dois veículos e um meio aéreo (0, 1 ou 2 e 0 ou 1, respectivamente) e obtivemos um *minorante* do ponto de corte.

Trata-se de um *minorante*, porque estamos na realidade a calcular a duração média dos incêndios que não chegaram a entrar em ataque ampliado: já que o momento em que um incêndio passa de IA a AA não é registado. Calculámos ainda a duração do AA com uma regra complementar, ambos para as duas classes de severidade, para o resto do ano e a média anual. Com todos estes valores em mão e fazendo uso de um parâmetro de acerto (na verdade quatro, “p_IA_N_MAX.Length” e “p_IA_R_MAX.Length”; ver página 44) com alguns experimentos ligeiros, foi possível estimar um “ponto de corte” coerente.

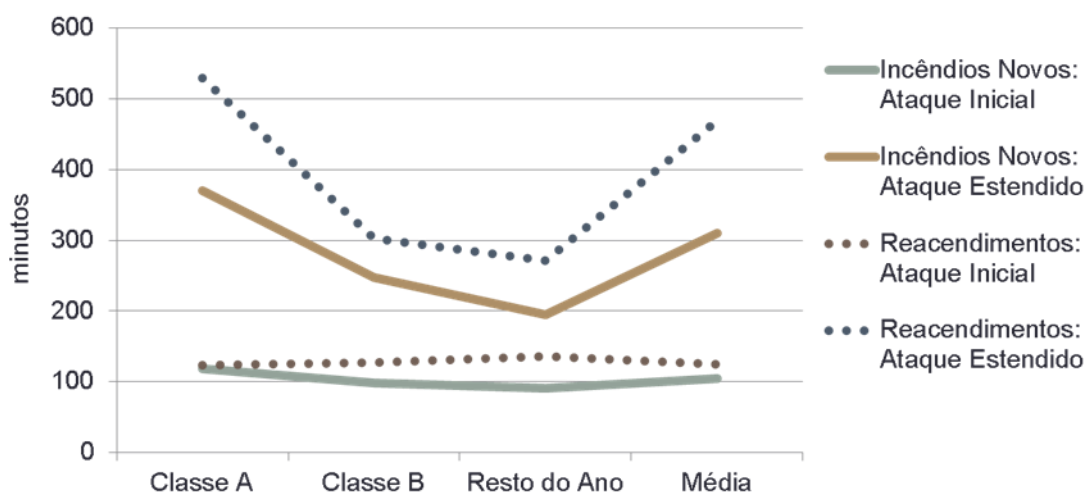


Gráfico 16 – Duração do ataque inicial e do ataque ampliado.

Os valores mencionados estão representados no Gráfico 16 (acima) e vale a pena sublinhar que outra vez se evidencia a maior adversidade de um RCD: em qualquer dos casos, tem sempre um IA e um AA mais extenso que o de um incêndio nascente. Além disso, os valores encontrados, indiciam que a regra dos noventa minutos não está a ser cumprida; o que por sua vez confirma a informação recolhida no decurso do trabalho de campo [ENT], no sentido em que os meios de combate se revelam insuficientes durante a fase Charlie.

4.4 Os Meios Empenhados

Para os recursos alocados ao IA e ao AA em função da severidade do dia, usou-se uma média estabelecida de uma forma análoga, a partir de AFN-CDOS.p.

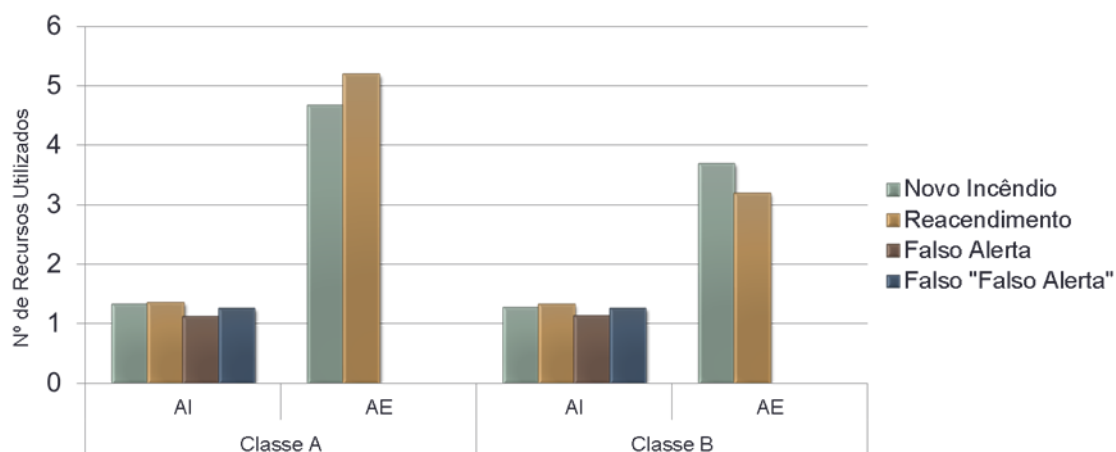


Gráfico 17 – Os meios empenhados.

Também se volta a corroborar o sublinhado com que fechamos a secção anterior, por via da informação materializada no Gráfico 17 (acima); onde se pode constatar que não chegam a utilizar-se, em média, duas equipas ECIN no IA como manda a regra, mas um valor relativamente inferior e em ambas as classes.

4.5 Estimativa da Área Ardida

É frequente determinar a dimensão de um incêndio com recurso a uma distribuição. Schoenberg, Peng, e Woods (2003) referem no estado da arte do seu artigo, que o modelo

mais utilizado é o de *Pareto* (ou variantes) em consequência da cauda longa das áreas ardidas em incêndios florestais, bem alicerçada em dados históricos; com a (já referida) distribuição de *Frechet* a ser também muito utilizada; mas mais ainda, os autores asseveram que tanto a *lognormal*, como a exponencial e outras distribuições mais comuns, não são adequadas.

Este foi um dos motivos que nos levou a não seguir este caminho, pelo limitado leque de distribuições presente no @ARENA; por outro lado, precisávamos de relacionar o resultado final de um incêndio com alguma das variáveis presentes no nosso modelo; poderia ser através da dependência da área ardida do tempo total no sistema; ou em alternativa, despachar os meios de combate em função do tempo de espera, e fazer depender a área ardida do número de recursos utilizados (cabe notar que numa análise ingénua aos dados existentes, seríamos levados a concluir que quanto mais recursos são enviados, maior é a área ardida – quando o que se passa é justamente o contrário).

Optámos pelo primeiro caminho, e tentámos estabelecer uma correlação entre a duração da ocorrência e a área ardida, mesmo sabendo que seria um caminho espinhoso. O nosso modelo lida com tempos de espera e tempos de serviço indirectamente relacionados com as condições meteorológicas, mas há muitos outros factores a determinar a área ardida face ao comportamento do fogo: a acumulação de combustível, o seu tipo, a velocidade e a direcção do vento, o facto da frente de fogo estar a subir ou a descer uma encosta, entre outros [Ent].

Tabela 5: Correlação entre a duração do incêndio e a área ardida.

Classe	Área Ardida (Povoamentos)		Amostra	Correlação		X	Y
	≠ 0	≥ 1ha		Linear	Quadrática		
(All)			4296	0,57	0,78	Alerta --> Extinção	AA_Florestal (Pov+mato)
A			2245	0,62	0,79	Alerta --> Extinção	AA_Florestal (Pov+mato)
B			2051	0,61	0,62	Alerta --> Extinção	AA_Florestal (Pov+mato)
(All)	S		821	0,64	0,79	Alerta --> Extinção	AA_Florestal (Pov+mato)
A	S		438	0,68	0,79	Alerta --> Extinção	AA_Florestal (Pov+mato)
B	S		383	0,67	0,68	Alerta --> Extinção	AA_Florestal (Pov+mato)
(All)		S	166	0,66	0,78	Alerta --> Extinção	AA_Florestal (Pov+mato)
A		S	121	0,69	0,78	Alerta --> Extinção	AA_Florestal (Pov+mato)
B		S	45	0,71	0,74	Alerta --> Extinção	AA_Florestal (Pov+mato)
(All)			4296	0,53	0,85	Alerta --> Extinção	AA_Povoamento
A			2245	0,56	0,86	Alerta --> Extinção	AA_Povoamento
B			2051	0,56	0,60	Alerta --> Extinção	AA_Povoamento
(All)	S		821	0,62	0,86	Alerta --> Extinção	AA_Povoamento
A	S		438	0,65	0,87	Alerta --> Extinção	AA_Povoamento
B	S		383	0,65	0,65	Alerta --> Extinção	AA_Povoamento
(All)		S	166	0,64	0,88	Alerta --> Extinção	AA_Povoamento
A		S	121	0,66	0,89	Alerta --> Extinção	AA_Povoamento
B		S	45	0,67	0,68	Alerta --> Extinção	AA_Povoamento

Mesmo cientes da dificuldade em conseguir bons resultados, excluámos da nossa análise as ocorrências com dados incompletos ou incoerentes (como seja começarem depois de terminarem), não considerámos os incêndios que tiveram reacendimentos nem os fogos resultantes (há muitos reacendimentos com área zero, o que é compreensível, uma vez que nem sempre será fácil distinguir entre si, as origens das áreas ardidas) além das condições exibidas na Tabela 5, e acabámos por encontrar correlações aceitáveis e regressões estatisticamente significativas (com um valor de prova inferior a 1×10^{-51} nos quatro casos), entre a duração do incêndio e a área ardida, tanto de povoamentos como florestal, tendo em conta os muitos factores não relevados. Apesar de tudo, achámos que esta dependência exclusiva do tempo é a maior fragilidade do modelo.

Para o cálculo da área ardida de povoamentos escolhemos uma aproximação linear, e uma quadrática no caso da área florestal ardida, ambas assinaladas na Tabela 5, acima (isto é, na página anterior).

Resta acrescentar que nada garante o êxito deste estudo, tendo naturalmente de ser feito caso a caso, pois como referem Anderson, Doherty, e Pearce (2008), a relação entre o número de ignições e a área ardida varia muito e deve ser sempre considerada; os autores dão o exemplo de Ontago (uma região com uma densidade populacional mais de 100x inferior à do distrito do Porto), que com apenas 6% das ignições que ocorreram na Nova Zelândia, concentrou em si 40% da área total ardida ao longo do período analisado, 1991-2007.

4.6 Validação do Modelo

Finalizamos este capítulo assinalando o cuidado e tempo que investimos ao longo da construção do modelo, testando constantemente se os resultados da simulação correspondiam ao esperado, sempre atentos a dados espúrios que resultassem de algum erro nosso.

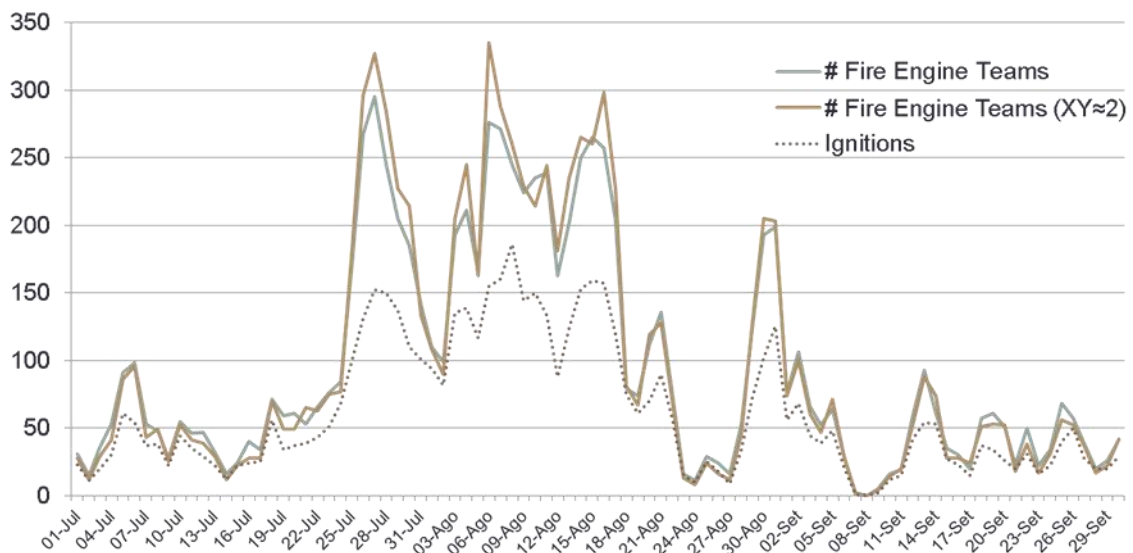


Gráfico 18 – Fire Engine Teams (usadas no decurso do mesmo dia)

Sem nos determos a relevar aspectos desse teor, isto é, directos no sentido em que o modelo produz o que se espera, seria no entanto de salientar que verificamos que o número de helicópteros empenhados em falsos alerta no modelo é de 67 a 68, um valor muito próximo do real, que foi 64. Também após a resolução de um sistema de equações a partir dos dados do CDOS, relacionando as regras de despacho com o número de viaturas empenhado ou mantendo a proporção teórica ELAC/ECIN (Gráfico 18), os valores encontrados revelaram-se coerentes com os resultados e pressupostos do nosso modelo; sem que em nenhum dos casos exista alguma implementação directa que o determine.

5 Análise dos Resultados

O primeiro passo que demos, foi correr várias séries de simulações a intervalos espaçados, para tentar perceber o número mínimo de replicações a fazer. Constatámos que abaixo de quinhentas, as flutuações eram inaceitáveis e que o valor desejável se situará acima das mil, como se pode depreender do Gráfico 19.

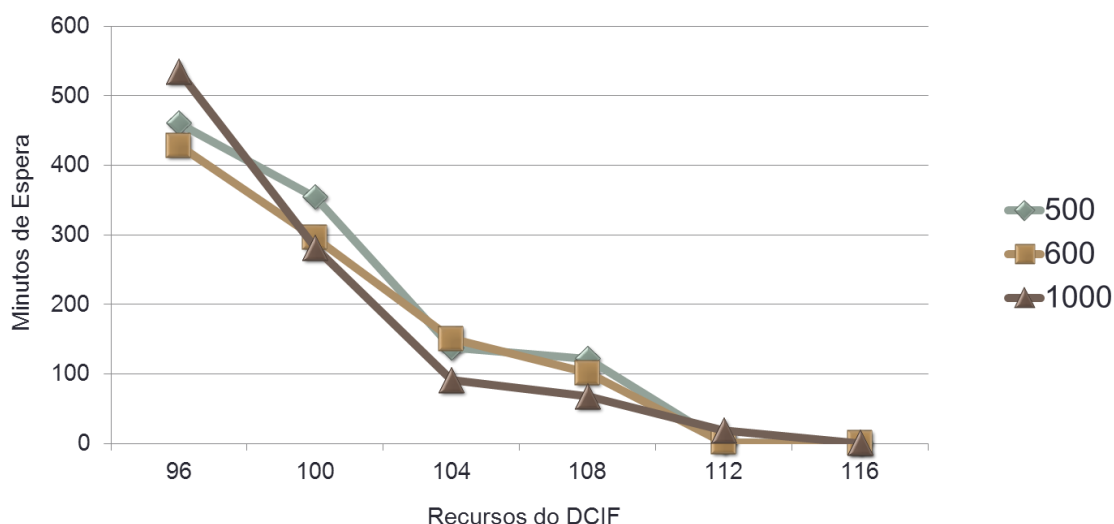


Gráfico 19 – Descoberta do número de replicações a efectuar em cada simulação.

Dado que a disponibilidade de tempo computacional era limitada e não nos permitiria fazer muitas experiências distintas, caso optássemos por um número elevado de replicações, privilegiámos a diversidade de experimentos com o intuito de alargar o espectro da nossa análise. Escolhemos assim o valor de quinhentas replicações, preferindo fazer muitos ensaios com menos detalhe, em lugar de poucos mas mais precisos. Deste modo, pudemos apreciar uma maior variedade de comportamentos das variáveis e assim, todos os exemplos que se seguem, resultam de simulações com esse número de replicações. Passamos então a responder às restantes questões de investigação.

Qual o impacto dos falsos alertas e reacendimentos nos recursos de supressão? [2]

Para responder a esta questão, tomámos um valor de referência que consta no PNDFCI (ISA 2005a); nomeadamente o objectivo de limitar o número de reacendimentos a 1%. Isso significa reduzir sensivelmente para 10%, os valores actuais. Em relação aos FA, acreditando que nunca será possível eliminá-los na totalidade, e tendo em conta os valores internacionais que já referimos (§2.1, página 9), achamos que é exequível o seu abatimento para metade.

Fizemos então variar o número de meios terrestres, com os dois cenários, o actual e o proposto, e avaliámos a soma do tempo médio de espera, dos incêndios nascentes com os reacendimentos. Dessa forma podemos tentar perceber o comportamento do limiar de colapso.

Com base na informação de campo recolhida, pareceu-nos razoável estipular que um incêndio não deve estar mais que dez minutos em fila de espera. No Gráfico 20, onde cada ponto corresponde a uma simulação com 500 replicações, não é muito claro o que está a acontecer.

Mesmo quando alargamos a amplitude para valores totalmente inaceitáveis, com tempos de espera que se estendem até cerca de seis horas, não descortinamos um padrão claro, além do

facto previsível do segundo cenário (10% RCD, 50% FA) começar a crescer mais tarde (Gráfico 21). Se se percebesse um crescimento mais lento, isso sim seria algo interessante.

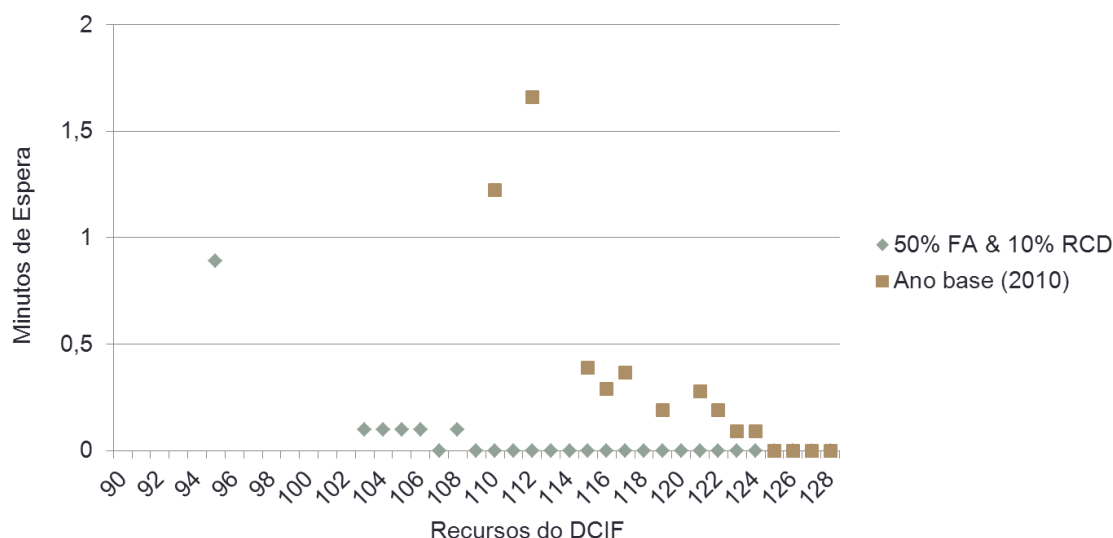


Gráfico 20 – Os dois cenários ponderados, com tempo de espera inferior a dez minutos.

Pelo menos percebe-se melhor agora, porque é que quando escolhemos ver apenas simulações com menos de dez minutos de tempo de espera, os pontos apareceram tão esparsos, e com menos de dois minutos; é que assim que se começam a gerar as filas, rapidamente os valores de espera se elevam a perder de vista.

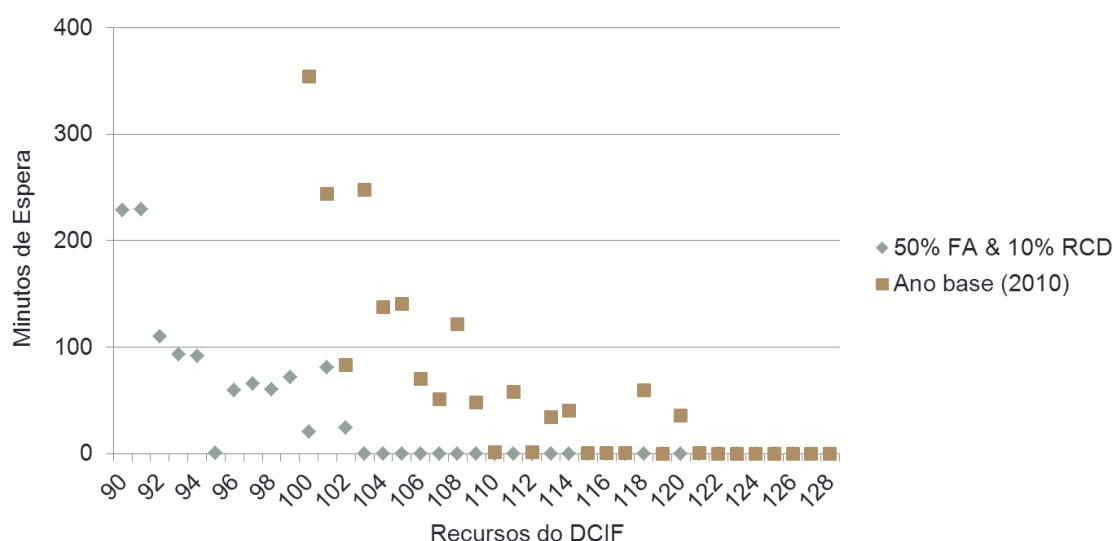


Gráfico 21 – Tendências distintas, em cenários distintos?

Estas observações preliminares parecem indiciar que o impacto da concretização de um objectivo como o enunciado no PNDFCI, conjugado com a valorização dos FA (no sentido de serem medidos e geridos) poderá ser maior do que o antecipado. Mesmo que não seja possível confirmar maior suavidade da curva de crescimento, e esta se revele igualmente explosiva, o atraso de dezoito recursos, de 120 para 102, representa um aumento de 17,6% na disponibilidade dos combatentes, assim mais livres para efectuarem um rescaldo ainda mais eficaz. Ou seja, a redução dos reacendimentos e dos falsos alertas, parece criar condições para reduzir ainda mais os reacendimentos. Parece que a estabilidade do ciclo negativo em que nos encontramos se continuará a manifestar, quando o conseguirmos inverter.

Qual a relação entre o limiar de colapso (nível de recursos mínimo) e a variação do número de ignições diárias? [3]

Tomando em consideração os limites extremos de variação do número de ocorrências diárias, observadas no distrito e a nível nacional desde o início do século; e tomando por referência os valores observados em 2010, encontramos um intervalo com uma amplitude que se estende desde 39,2% até 162,6%. Assim, e após vários ensaios, resolvemos testar quatro séries de simulações para os valores de 40, 80, 120 e 160% de variação no número de ocorrências diárias; em que para cada uma delas, fizemos variar os recursos, procurando o ponto de colapso na mesma acepção de [2].

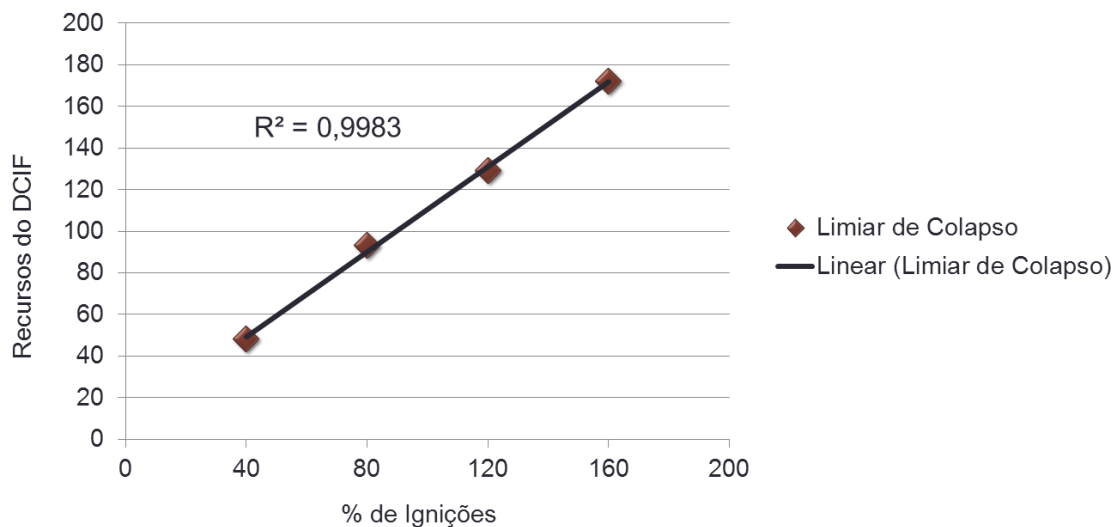


Gráfico 22 – Limiar de Colapso.

Seguidamente e para cada uma das quatro séries, identificamos o valor mínimo de recursos abaixo do limiar de colapso, ou seja, cujos tempos de espera não ultrapassam dez minutos. No Gráfico 22 podem observar-se esses quatro pontos. O resultado obtido aponta, para uma resposta “linear” dos meios necessários para fazer face à variação do número de ignições diárias; Sendo necessário aprofundar esta questão, nomeadamente com mais séries intermédias (60, 100 e 140%, pelo menos), e mais replicações em cada uma delas; parece que estamos perante uma boa notícia, do ponto de vista do planeamento.

Concluída a resposta às nossas questões de investigação, houve dois outros resultados em que “tropeçámos” e achamos merecer a pena mencionar.

Procuramos, com recurso ao OptQuest, minimizar o número de equipas afectas aos recursos terrestres (“Fire Engine Team”), com a restrição de não ser ultrapassado o ponto de colapso; isto é, com quatro restrições que asseguram que um incêndio nascente, um RCD, um FA ou um falso “falso alarme” não têm um tempo médio de espera na fila, superior a dez minutos; Por outro lado, procuramos minimizar os custos totais do sistema, minimizando a soma do valor investido nos recursos de supressão (All Resources.TotalCost”), com as perdas de valor em produtos lenhosos, em consequência dos povoamentos ardidos (7.1 Timber Products Value Losses). É curioso notar que em ambos os casos, a solução parece convergir para o mesmo valor, 110 “Fire Engine Teams”. Além disso, as três melhores soluções seguintes, são as mesmas, embora não pela mesma ordem. A convergência manifestou-se desde cedo e pronunciou-se à medida que fomos aumentando o número de replicações; consideramos que este será outro indício a favor da coerência do modelo e da pertinência do “limiar de colapso”.

O último aspecto que destacamos é a confirmação da necessária baixa taxa de ocupação que se espera no caso dos serviços de emergência. Sabe-se da literatura (Carravilla and Guedes 2010; Johnston and Clark 2005) que em situações normais, num restaurante por exemplo, não se pode esperar uma taxa de ocupação de 100%, aliás, pelo limiar dos 80%, entramos na *coping zone* com desconforto tanto para os funcionários como para os clientes. Sendo que esse valor deve ser estudado no âmbito da gestão da capacidade e depende do serviço prestado (por exemplo num bar nocturno, será positivo um valor mais próximo de 100%), é sabido que em serviços de emergência, o limiar da *coping zone* é muito inferior e na ordem dos 20%.

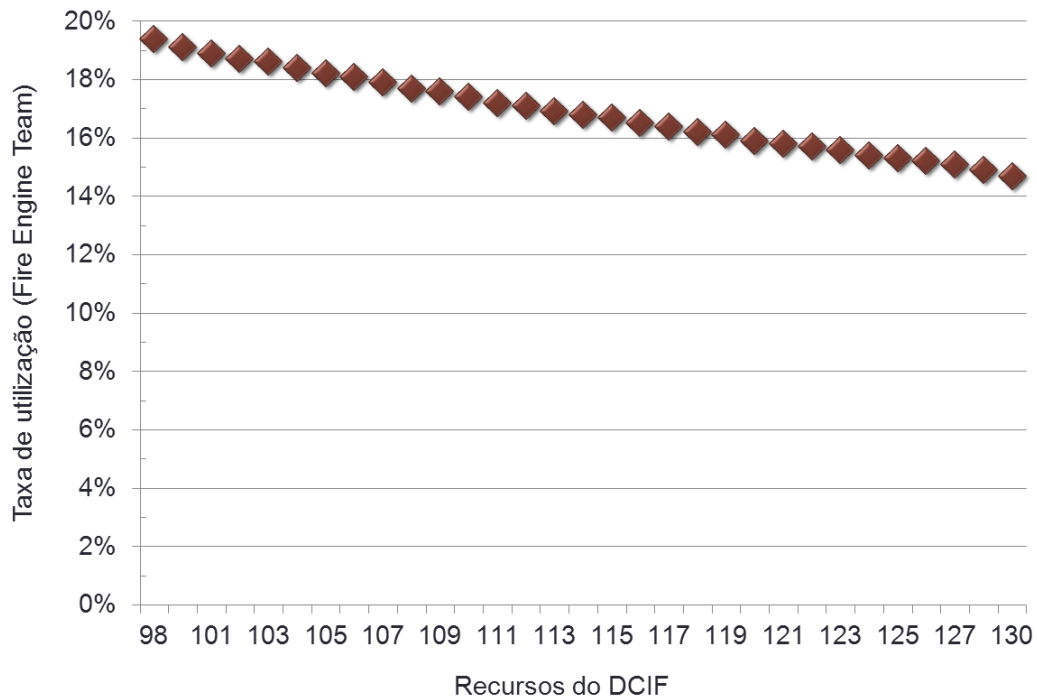


Gráfico 23 – Taxa de utilização.

Considerando níveis de recursos razoáveis (tendo em consideração os tempos de espera implícitos), o nosso sistema aponta para a confirmação deste último aspecto. Como se pode observar no Gráfico 23, à medida que vamos baixando os meios de combate disponíveis, a taxa de ocupação aumenta mas ainda com valores muito baixos, e sempre inferiores a 20%, mesmo numa altura em que os tempos de espera já começam a disparar.

Aparentemente, os resultados que obtivemos neste estudo preliminar, parecem apontar para que o limiar de colapso implique que se respeite uma taxa de ocupação da ordem dos 17% ou inferior. Cabe notar que até o meio aéreo que está muito longe de responder a todas as ocorrências por falta de disponibilidade, tem uma taxa de ocupação na ordem dos oitenta por cento; o que também é consistente com a literatura.

6 Conclusões e Desenvolvimento Futuro

Uma abordagem tradicional para enfrentar o aumento do número de ocorrências é a adição de mais meios de supressão. Trata-se de uma solução cara, que eventualmente não o resolve e conduz geralmente a um ciclo vicioso de aumentos sucessivos (Ignall et al. 1975). Embora com tópicos incidentes no lado da supressão, procurámos ao longo deste trabalho integrar outros aspectos, esperando contribuir ainda que ligeiramente para uma visão mais holística deste tema, com as relações que fortalecemos entre assuntos aparentemente distintos, como é o caso dos falsos alertas e dos reacendimentos.

De facto, o nosso estudo preliminar indicia que os dois em conjunção aparentam ter um impacto significativo nos valores de bens e serviços perdidos anualmente nas áreas ardidas. Começamos por estabelecer em definitivo, a partir dos dados colectados, que as condições favoráveis ao aumento do número de reacendimentos são aceleradas em dias com mais ignições; onde a falta de meios também relacionada com os desperdiçados com falsos alertas degrada as acções de rescaldo.

Com recurso ao modelo de simulação, encontramos o que parecem ser fortes indícios de uma mais ampla gravidade dos dois conjugados, apontando para o interesse em aprofundar este trabalho exploratório. Além disso, surgiram indícios de que os recursos necessários para evitar uma situação de colapso por falta de meios de combate, varia linearmente com o número de ignições diárias. Tendência que a ser confirmada tem uma implicação positiva para a necessidade de planeamento antecipado do DCIF.

Por fim, encontramos alguns pontos de equilíbrio que merecem alguma reflexão e o nosso modelo confirmou a baixa taxa de ocupação que deve ser esperada de um serviço deste género. Evidência que remete para o problema de rentabilizar esses recursos fora do período crítico e cuja resposta pode estar na concepção do “polícia-bombeiro”, que deu suporte à criação dos GIPS. Terminamos de seguida, com importantes limitações deste trabalho que julgamos essencial destacar, e com algumas oportunidades de desenvolvimento futuro.

LIMITAÇÕES

Entre as várias limitações do trabalho que desenvolvemos, para além do número de replicações que deve ser consideravelmente ampliado; é de destacar o facto de não termos contemplado no modelo, a sobrecarga de utilização dos meios humanos em dias consecutivos de maior severidade (classe A), tal como fizeram Podur e Martell (2007). Parece ser um aspecto importante, também porque, como foi referido nas entrevistas e é salientado por Wallace (1978), durante o período crítico, as unidades de combate «são conhecidas por saltarem de incêndio em incêndio, sem descanso». Nessas circunstâncias, é de esperar uma degradação da eficiência, o que apontaria para tempos de serviço dependentes do estado do sistema.

Outro aspecto que concorre no mesmo sentido e que também não foi considerado, é a realocação de meios, característica do mesmo período. A necessidade de deslocar equipas ECIN para territórios com geografias menos familiares, sugere uma modelação que faça depender o tempo de serviço, das equipas entre si (Wallace 1978) ou então, que de alguma forma relevasse o aspecto da deslocação espacial.

Em relação ao impacto dos FA, em particular os maliciosos, verifica-se no caso da Nova Zelândia (Tu 2002) que estes crescem 53,8% ao fim de semana. O que apontaria para um

processo NSPP também ao longo da semana, aspecto que também não consta do nosso modelo; e pode eventualmente afectar, também os incêndios nascentes [ENT].

Terminamos, salientando rapidamente outros aspectos que nos parecem importantes e constituem limitações adicionais:

- A sequência de 92 dias, embora parametrizável, ainda não é estocástica;
- A simulação não cobre a totalidade do ano;
- A duração dos incêndios, dependendo do tempo, independe dos recursos utilizados;
- A disciplina das filas é FIFO e não são partilhadas;
- Os grandes incêndios não têm um tratamento específico;
- E o estudo apenas abrangeu o distrito do Porto em 2010 e seria interessante verificar a sua aplicabilidade a outras regiões e períodos.

DESENVOLVIMENTO FUTURO

Além de explicitamente endereçarmos a nossa preocupação e interesse, às limitações que acabamos de referir, destacamos entre elas, a necessidade de estabelecer a conexão entre os meios (recursos empenhados) no combate e a duração do incêndio.

Reduzir a variabilidade na medida do possível (o @Arena não o permite para NSPP), com as técnicas sugeridas por Kelton, Sadowski, and Swets (2010) pode parecer um aspecto menor, mas facilitaria o estudo comparativo de diferentes políticas de despacho; por exemplo, dar prioridade ao IA ou ao AA, em lugar da prioridade semelhante que usamos.

Seria útil estudar mais profundamente a dinâmica dos reacendimentos (*delays*, gerações), abarcando outras regiões e períodos mais latos, e incorporar esses aspectos no modelo. E na sequência da resposta que encontramos para [2], recolocar a pergunta [3], considerando agora ambos os cenários.

Enfatizamos para terminar, algumas questões que afloramos ao longo das páginas anteriores e embora não directamente relacionadas com os desenvolvimentos futuros deste modelo de simulação, nos parecem merecedoras de uma atenção especial:

- Investigar se a alteração feita à política de despacho em 2006, o chamado “ataque musculado”, teve as consequências esperadas;
- Confirmar (ou não) a conjectura da estabilidade das causas;
- Estudar a relação das “chegadas” em forma de “Camelo” / “Dromedário”, com as condições meteorológicas e a origem dos incêndios;
- Explorar as causas dos FA em Portugal, usando análise espacial (Corcoran et al. 2007; Corcoran, Higgs, and Higginson 2011), algoritmos genéticos (Yang et al. 2003), ou outros meios desde que com uma abordagem integradora.

Para concluir, e ainda no âmbito dos falsos alertas; a alternativa que se sugere frequentemente [ENT] é a de encerrar a linha 117 e apostar em sistemas de detecção automática. Embora existam indícios de que dessa forma seria possível reduzir em 3/4 o número de FA (Tu 2002), na literatura também abunda informação sobre a taxa de falha, e consequente FAA, desse género de equipamentos; acreditamos que seria interessante comparar os custos actuais dos FA, com o custo dos FAA, incluindo a aquisição, instalação e manutenção desse sistema.

Referências

- Abraham, Ralph H. 1987. Complex dynamics and the social sciences. *World Futures* 23 (1-2):1-10.
- AFN. 2011. *Incêndios Florestais - Totais Nacionais: 1980-2006*. Autoridade Florestal Nacional, 2008-03-27 2008 [cited April 11 2011]. Available from <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas/resolveuid/0b620893295bb18c496e52690e916b2a> (Archived by WebCite® at <http://www.webcitation.org/5xroVO5jZ>).
- AFN. 2011a. *Incêndios Florestais - Totais por Distrito (1980-2006)*. Autoridade Florestal Nacional, 2008-03-27 2008a [cited April 11 2011a]. Available from <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas/resolveuid/543119d240edcc70e3a76249a8b834ef> (Archived by WebCite® at <http://www.webcitation.org/5xroGLgOB>).
- AFN. 2011b. *Estatísticas por Freguesia (1996-2009)*. Autoridade Florestal Nacional, 2010-12-09 2010b [cited April 11 2011b]. Available from <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas/estatisticas-1996-2009-por-freguesia> (Archived by WebCite® at <http://www.webcitation.org/5xrpGGfCd>).
- AFN. 2011c. *Estatísticas por Freguesia (1996-2009) - Registos 2001-2006 (XY)*. Autoridade Florestal Nacional, 2010-12-09 2010c [cited April 11 2011c]. Available from <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas/resolveuid/f0b6886e4d69f0154c10759e4e2c655f> (Archived by WebCite® at <http://www.webcitation.org/5xrqERhOw>).
- AFN. 2011d. *Estatísticas por Freguesia (1996-2009) - Registos 2007-2009 (XY)*. Autoridade Florestal Nacional, 2010-12-09 2010d [cited April 11 2011d]. Available from <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas/resolveuid/54df3bac143addd6ac4ad54729a1cba7> (Archived by WebCite® at <http://www.webcitation.org/5xrptWyKi>).
- AFN. 2011e. *Estatísticas por Freguesia (1996-2009) - Codificação e Definição das Categorias das Causas*. Autoridade Florestal Nacional, 2010-12-09 2010e [cited April 11 2011e]. Available from <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas/resolveuid/0ed93c10c460b055bce289b641156a1f> (Archived by WebCite® at <http://www.webcitation.org/5xrqMKDjX>).
- AFN. 2011f. *Relatório Anual de Áreas Ardidas e Ocorrências em 2010* (Autoridade Florestal Nacional). Direcção de Unidade de Defesa da Floresta, 2011-03-28 2011f [cited April 11 2011f]. Available from <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/relatorios/resource/ficheiros/2010/relatorio-final-2010> (Archived by WebCite® at <http://www.webcitation.org/5xrU23Pfn>).
- AFN. 2011g. *Estatística – Dados sobre incêndios florestais*. Autoridade Florestal Nacional, 2011-04-20 2011g [cited April 20 2011g]. Available from <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas> (Archived by WebCite® at <http://www.webcitation.org/5zezCq8MC>).
- AFN. 2011h. *Monitorização e Avaliação do Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios, 2009/2010 - Relatório Final Preliminar*. Autoridade Florestal Nacional.
- AFN/DNGF, ed. 2010. *5º Inventário Florestal Nacional. 2005-2006. Relatório Final*. Edited by AFN. Autoridade Florestal Nacional ed. Lisboa: Direcção Nacional de Gestão Florestal.
- Almeida, Rui. 2005. Modelo de Análise para “Adequação dos Meios Aéreos face ao Risco Potencial de Incêndio”.
- Anderson, S.A.J., J.J. Doherty, and H.G. Pearce. 2008. Wildfires in New Zealand from 1991 to 2007. *NZJ For* 53 (3):19-22.

- Ariely, Dan, and Michael I. Norton. 2011. From thinking too little to thinking too much: a continuum of decision making. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science* 2 (1):39-46.
- Beighley, M., and A.C. Hyde. 2009. Systemic Risk and Portugal's Forest Fire Defense Strategy. *Portucel Conf.*
- Bekker, R., G. Koole, B.F. Nielsen, and T.B. Nielsen. 2009. Queues with waiting time dependent service. *Submitted for publication.*
- Bettinger, Pete. 2010. An overview of methods for incorporating wildfires into forest planning models. *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences (MCFNS)* 2 (1):43-52 (10).
- Bookbinder, J.H., and D.L. Martell. 1979. Time-Dependent Queueing Approach to Helicopter Allocation for Forest fire Initial-Attack. *INFOR: Information Systems and Operational Research.*
- Carravilla, Maria Antónia, and Alcibiades Paulo Guedes. 2010. Slides de GOLS (Gestão de Operações e Logística de Serviços), Cap. 6, Capacity Management. edited by MESG. Porto: FEUP.
- Catry, F. X., F. C. Rego, F. L. Bação, and F. Moreira. 2009. Modeling and mapping wildfire ignition risk in Portugal. *International Journal of Wildland Fire* 18 (8):921-931.
- Catry, F.X., P. Damasceno, J.S. Silva, M. Galante, and F. Moreira. 2007. Modelação espacial do risco de ignição em Portugal continental, Spatial distribution patterns of wildfire ignitions in Portugal, Universidade Nova de Lisboa.
- Catry, FX, FC Rego, F. Moreira, F. Bação, J. Heras, CA Brebbia, D. Viegas, and V. Leone. 2008. Characterizing and modelling the spatial patterns of wildfire ignitions in Portugal: fire initiation and resulting burned area.
- Claro, João. 2010. FIRE-ENGINE: Flexible Design of Forest Fire Management Systems. Paper read at Workshop Novas Tecnologias em Gestão Florestal Sustentável, October 25, at Lisboa, ISA.
- Claro, João. 2010. *A PERSPECTIVA SISTÉMICA*. BIP, INESC Porto 2010 [cited 2010, Novembro 2010]. Available from <http://bip.inescporto.pt/110/a-vos-a-razao.html> (Archived by WebCite® at <http://www.webcitation.org/5zk32Lk8n>).
- Collins, Ross D. 2011. Literature Review of Operational Research Studies in Forest Fire Management
- Wildfire Mgmt Literature Review.
- Conard, S., and M. Hilbruner. 2003. Influence of Forest Structure on Wildfire Behavior and the Severity of its Effects. USDA Forest Service, Washington, DC.
- Corcoran, Jonathan, Gary Higgs, Chris Brunsdon, Andrew Ware, and Paul Norman. 2007. The use of spatial analytical techniques to explore patterns of fire incidence: A South Wales case study. *Computers, Environment and Urban Systems* 31 (6):623-647.
- Corcoran, Jonathan, Gary Higgs, and Angela Higginson. 2011. Fire incidence in metropolitan areas: A comparative study of Brisbane (Australia) and Cardiff (United Kingdom). *Applied Geography* 31 (1):65-75.
- Cunningham, AA, and DL Martell. 1973. A stochastic model for the occurrence of man-caused forest fires. *Can. J. For. Res* 3 (2):282-287.
- de Neufville, R., and S. Scholtes. 2009. Flexibility in Design.
- Falcão, André O., and José G. Borges. 2005. Designing decision support tools for Mediterranean forest ecosystems management: a case study in Portugal. *Ann. For. Sci.* 62 (7):751-760.
- Fernandes, Paulo M., and Hermínio S. Botelho. 2003. A review of prescribed burning effectiveness in fire hazard reduction. *International Journal of Wildland Fire* 12 (2):117-128.

- Flynn, J.D. 2009. *Fire Service Performance Measures*.
- Greulich, Francis E. 2003. Airtanker initial attack: a spreadsheet-based modeling procedure. *Canadian Journal of Forest Research* 33 (2):232.
- Halmos, P.R. 1968. Mathematics as a creative art. *American Scientist* 56 (4):375-89.
- Holmes, Thomas P., Robert J. Huggett, and Anthony L. Westerling. 2008. Statistical Analysis of Large Wildfires. In *The Economics of Forest Disturbances*, edited by T. P. Holmes, J. P. Prestemon and K. L. Abt: Springer Netherlands.
- Ignall, Edward J., Peter Kolesar, Arthur J. Swersey, Warren E. Walker, Edward H. Blum, Grace Carter, and Homer Bishop. 1975. Improving the deployment of New York City fire companies. *Interfaces* 5 (2):48-61.
- ISA. 2011. *Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios: Um Presente para o Futuro* 2005 [cited 2011-03-07 2011]. Available from <http://www.isa.utl.pt/pndfci/> (Archived by WebCite® at <http://www.webcitation.org/5zjuImZzu>).
- ISA. 2005. Resumo Executivo da Proposta Técnica de Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios. In *Volume I*. <http://www.isa.utl.pt/pndfci/>.
- ISA. 2005a. Proposta técnica de Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios. In *Volume I*. <http://www.isa.utl.pt/pndfci/>.
- ISA. 2005b. Proposta técnica de Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios - Plano de Acção. In *Volume II*. <http://www.isa.utl.pt/pndfci/>.
- ISA. 2005c. Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios, Um Presente para o Futuro (Vol I/II, Anexo 2). In *Pressupostos de Valor*. <http://www.isa.utl.pt/pndfci/>.
- ISA. 2005d. Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios, Um Presente para o Futuro (Vol I/II, Anexo 3). In *Factos e Números*. <http://www.isa.utl.pt/pndfci/>.
- ISA. 2005e. Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios, Um Presente para o Futuro (Vol I/II, Anexo 8). In *Glossário*. <http://www.isa.utl.pt/pndfci/>.
- Islam, K. S., D. L. Martell, and M. J. Posner. 2009. A Time-Dependent Spatial Queueing Model for the Daily Deployment of Airtankers for Forest Fire Control. *INFOR: Information Systems and Operational Research* 47 (4):319-333.
- Islam, K.M.S., and D.L. Martell. 1998. Performance of initial attack airtanker systems with interacting bases and variable initial attack ranges. *Canadian Journal of Forest Research* 28 (10):1448-1455.
- Johnston, R., and G. Clark. 2005. *Service operations management: improving service delivery*: Prentice Hall.
- Karter, M.J. 2008. Fire loss in the United States 2007. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- Karter, M.J. 2009. *Fire loss in the United States 2008*: National Fire Protection Association.
- Kelton, W.D., R.P. Sadowski, and N.B. Swets, eds. 2010. *Simulation with Arena*. 5 ed: McGraw-Hill International Edition.
- Killalea, D. 1998. *Strategies to reduce false alarms to the Tasmania Fire Service*.
- Koole, G., B.F. Nielsen, and T.B. Nielsen. 2009. Waiting time dependent multi-server priority queues. *Submitted for publication*.
- Mandelbaum, A. 2002. Call Centers: Research bibliography with abstracts. *Version* 3:33–64.
- Mandelbaum, Marvin, and Myron Hlynka. 2008. Examples of Applications of Queueing Theory in Canada. *INFOR: Information Systems and Operational Research* 46 (4):247-263.
- Mandelbaum, Marvin, and Myron Hlynka. 2009. History of Queueing Theory in Canada Prior to 1980. *Infor* 47 (4):335-353.
- Martell, D.L. 1982. A review of operational research studies in forest fire management. *Canadian Journal of Forest Research* 12 (2):119-140.

- Martell, D.L. 2001. Forest Fire Management. In *Forest Fires*, edited by A. J. Edward and M. Kiyoko. San Diego: Academic Press.
- Martell, D.L. 2007. Forest Fire Management. In *Handbook Of Operations Research In Natural Resources*, edited by A. Weintraub, C. Romero, T. Bjørndal, R. Epstein and J. Miranda: Springer US.
- Martell, D.L. 2011. The development and implementation of forest and wildland fire management decision support systems: reflections on past practices and emerging needs and challenges. *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences (MCFNS)* 3 (1):18-26.
- Martell, D.L., E.A. Gunn, and A. Weintraub. 1998. Forest management challenges for operational researchers. *European journal of operational research* 104 (1):1-17.
- Martell, D.L., Kourtz, P.H., Tithecott, A., and Ward, P.C. 1999. The development and implementation of forest fire management decision support systems in Ontario, Canada. Paper read at Fire Economics, Planning, and Policy: Bottom Lines, at USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, California.
- Narayan, Caroline, Paulo M. Fernandes, Jo van Brusselen, and Andreas Schuck. 2007. Potential for CO2 emissions mitigation in Europe through prescribed burning in the context of the Kyoto Protocol. *Forest Ecology and Management* 251 (3):164-173.
- Oliveira, Tiago. 2005. Portuguese National Plan for Prevention and Protection of Forest against Fires: The First Step. *International Forest Fire News*, December 2005, 30-34.
- Oliveira, Tiago. 2011. Ciclo Vicioso do Combate e Oportunidades Prioritárias.
- Pacheco, Abílio Pereira. 2011. *UM MILHÃO DE TONELADAS*. BIP, INESC Porto 2011 [cited 2011, Abril 2011]. Available from <http://bip.inescporto.pt/115/a-vos-a-razaio.html> (Archived by WebCite® at <http://www.webcitation.org/5zk2BE9US>).
- Pacheco, Abílio Pereira, and João Claro. 2011. Forest Fire Management as an Engineering System. Paper read at 9ª Mostra da U. Porto, 100 anos da Universidade do Porto, March 17, at Porto, Palácio de Cristal (Archived by WebCite® at <http://www.webcitation.org/5xNpYS6I5>).
- Podur, J. J., and D. L. Martell. 2007. A simulation model of the growth and suppression of large forest fires in Ontario. *International Journal of Wildland Fire* 16 (3):285-294.
- Podur, Justin, and Michael Wotton. 2010. Will climate change overwhelm fire management capacity? *Ecological Modelling* 221 (9):1301-1309.
- Posner, M. 1973. Single-Server Queues with Service Time Dependent on Waiting Time. *Operations Research* 21 (2):610.
- Reis, P., and T. Oliveira. 2007. The role of technical and scientific knowledge production, transfer and dissemination in fire planning and policy. Paper read at 4th International Wildland Fire Conference, at Sevilha, Espanha.
- Rossetti, M.D., ed. 2010. *Simulation modeling and arena*: John Wiley & Sons, Inc.
- Saveland, J. 1998. Prescribed fire: the fundamental solution.
- Schoenberg, Frederic Paik, Roger Peng, and James Woods. 2003. On the distribution of wildfire sizes. *Environmetrics* 14 (6):583-592.
- Sterman, J.D. 2006. Learning from evidence in a complex world. *American Journal of Public Health* 96 (3):505.
- Thompson, Matthew P., and Dave E. Calkin. 2011. Uncertainty and risk in wildland fire management: A review. *Journal of Environmental Management*.
- Tu, Y.F. 2002. Assessment of the Current False Alarm Situation from Fire Detection Systems in New Zealand and the Development of an Expert System for Their Identifications, School of Engineering, University of Canterbury.
- Wallace, Rodrick. 1978. Contagion and incubation in New York City structural fires 1964–1976. *Human Ecology* 6 (4):423-433.

- Wiitala, MR, and AE Wilson. 2005. A systems analysis model for wildland fire preparedness planning. *United States Department of Agriculture, Forest Service General Technical Report* 656:175.
- Yang, Lili, Michael Gell, Christian Dawson, and Martin Brown. 2003. Clustering Hoax Fire Calls Using Evolutionary Computation Technology. In *Developments in Applied Artificial Intelligence*, edited by P. Chung, C. Hinde and M. Ali: Springer Berlin / Heidelberg.

APÊNDICE A: Configuração do Modelo de Simulação (variáveis, expressões, etc.)**ENTIDADES**

Nome	Descrição
Day	Dia (usado para criar os dias)
Fire	Incêndio Nascente
Reignition	Reacendimento
FA	Falso Alerta
FFA	Falso "Falso Alarme"

ATRIBUTOS

Nome	Função
ServiceTime	Guarda a duração do "Incêndio Nascente" (tempo de processamento)
ReignitionServiceTime	Guarda a duração de um "Reacendimento" (tempo de processamento)
Class	Identifica a classe da entidade, A ou B (1 ou 2)
sH	Designa se um meio aéreo será ou não usado com essa entidade (0 ou 1)

RECURSOS

Nome	Capacidade	Ocupado/ hora	Inativo/ hora	Significado
Fire_Engine_Team	100	10	10	Veículo usado no combate por uma ECIN (ataque) ou ELAC (abastecimento)
Helicopter	1	788	0	Helicóptero

SCHEDULES

Nome	Função	Tipo	Unidade (de tempo)
F_Arrivals_cA	Implementa o NSPP de chegada de incêndios nascentes em dias de classe A; 24 formulas, uma por hora; exemplo hora 1: $Ign_N_cA(1) * \%N/100 * A_on$	Arrival	Hours
F_Arrivals_cB	Implementa o NSPP de chegada de incêndios nascentes em dias de classe B; 24 formulas, uma por hora; exemplo hora 17: $Ign_N_cB(17) * \%N/100 * B_on$	Arrival	Hours
R_Arrivals_cA	Implementa o NSPP de chegada de reacendimentos em dias de classe A; 24 formulas, uma por hora.	Arrival	Hours
R_Arrivals_cB	Implementa o NSPP de chegada de reacendimentos em dias de classe B; 24 formulas, uma por hora.	Arrival	Hours
FA_Arrivals_cA	Implementa o NSPP de chegada de falsos alertas em dias de classe A; 24 formulas, uma por hora.	Arrival	Hours
FA_Arrivals_cB	Implementa o NSPP de chegada de falsos alertas em dias de classe B; 24 formulas, uma por hora.	Arrival	Hours
FFA_Arrivals	Implementa o NSPP de chegada de falsos "falso alarme"; 24 formulas, uma por hora (independe da classe de severidade)	Arrival	Hours

VARIÁVEIS

Nome	Função	Usadas dentro de cada Schedule
%N	Varia a percentagem de Incêndios Nascentes (IN)	
%R	Varia a percentagem de Reacendimentos	
%FA	Varia a percentagem de Falsos Alertas	
%FFA	Varia a percentagem de falsos "Falsos Alarmes"	
A_on	Liga/Desliga os dias de Classe A*	
B_on	Liga/Desliga os dias de Classe B*	
p.r	Actua globalmente sobre os recursos (%)	

* Serve para testar o modelo de simulação.

Parâmetros Regionais

		Tabela	
Nome	Descrição	Linhas	Colunas
Ign_N_cA	Chegada de Incêndio Nascente em dias de Classe A	24	---
Ign_N_cB	Chegada de Incêndio Nascente em dias de Classe B	24	---
Ign_R_cA	Chegada dos Reacendimentos nos dias de Classe A	24	---
Ign_R_cB	Chegada dos Reacendimentos nos dias de Classe B	24	---
Ign_FA_cA	Chegada de Falsos Alertas em dias de Classe A	24	---
Ign_FA_cB	Chegada de Falsos Alertas em dias de Classe B	24	---
Ign_FFA	Chegada dos falsos "Falso Alarme"	24	---
k_r.IA	Recursos enviados para os incêndios nascentes que terminaram durante o ataque inicial	1	2
k_r.AA	Recursos adicionais, enviados para os incêndios nascentes que passaram a ataque ampliado	1	2
k_Reignition.r.IA	Recursos enviados para os reacendimentos que terminaram durante o ataque inicial	1	2
k_Reignition.r.AA	Recursos adicionais, enviados para os reacendimentos que passaram a ataque ampliado.	1	2
k_FA.r	Recursos enviados para os falsos alertas	1	2
k_FFA.r	Recursos enviados para os falsos "falso alarme"	---	---
k_IA_N_MAX.Length	Duração dos incêndios nascentes que terminaram durante o ataque inicial	1	2
p_IA_N_MAX.Length	Parâmetros de acerto da duração máxima do ataque inicial (incêndio nascente)	1	2
k_IA_R_MAX.Length	Duração dos reacendimentos que terminaram durante o ataque inicial	1	2
p_IA_R_MAX.Length	Parâmetros de acerto da duração máxima do ataque inicial (reacendimentos)	1	2
CLS	Classe de severidade atribuída a cada dia (1 ou 2)	92	---

Perdas de Valor

Nome	Descrição
Ha_Losses_Products_Services	Valor de bens e serviços gerados nas áreas ardidas (AFN 2011f) - €/ha
CO2_Factor_WildFire_Stands	Toneladas de CO ₂ por ha ardido de Povoamentos*
CO2_Factor_Prescribed_Fire	Toneladas de CO ₂ por ha ardido de Matos*
Ha_Losses_Timber_Products_Value	Valor dos Produtos Lenhosos (ISA 2005c) em €/ha
Ha_Losses_Non_Timber_Products_Value	Valor dos Produtos Não Lenhosos (ISA 2005c) em €/ha
Ha_Losses_Recreational_Activities_Value	Valor das Actividades de Recreação (ISA 2005c) em €/ha
Ha_Losses_Indirect_Use_Value	Valor de Uso Indirecto (ISA 2005c) em €/ha

* Calculado a partir de (Narayan et al. 2007)

Controle Lógico

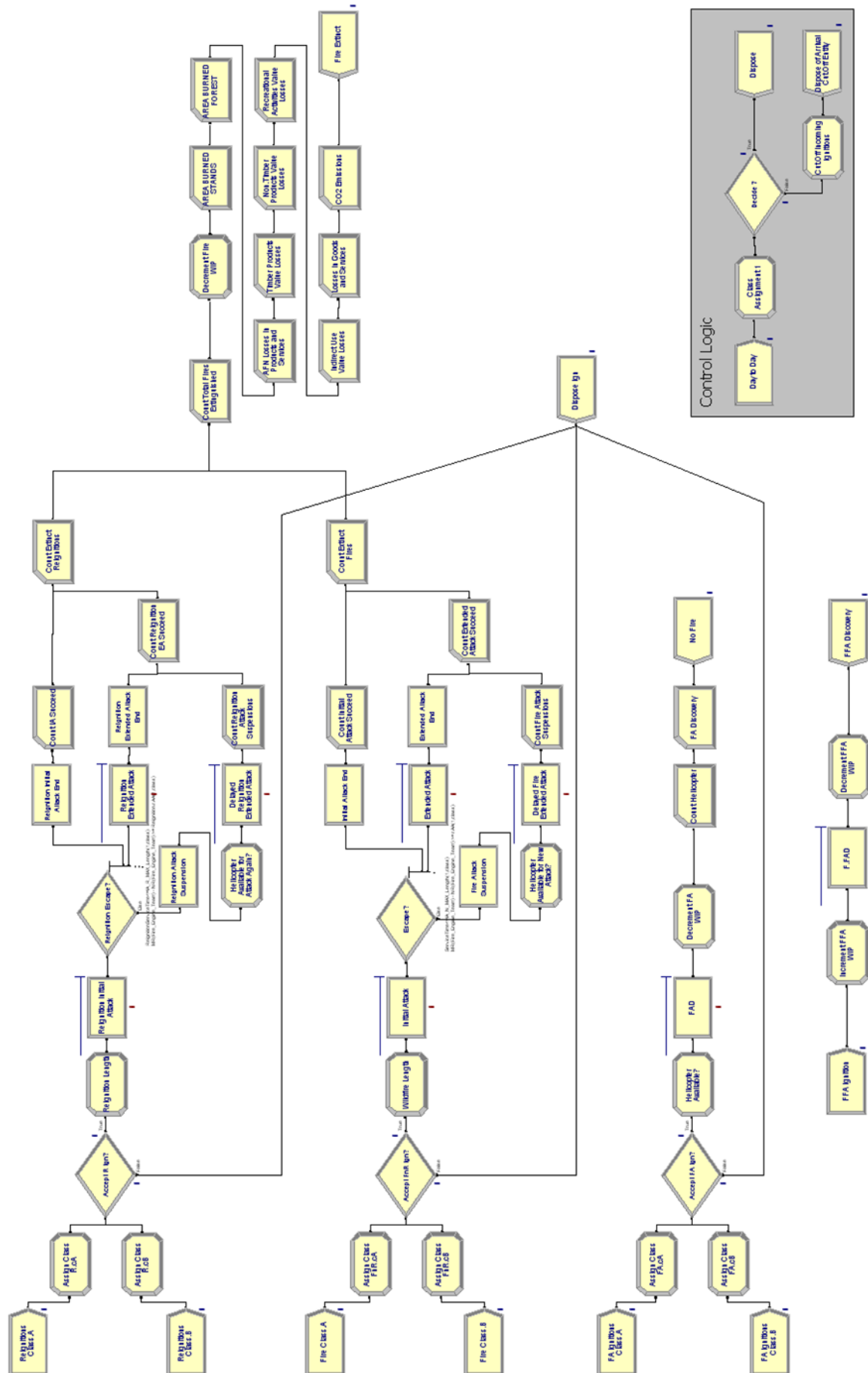
Nome	Função
Ignitions_Per_Arrival	Entidades criadas por chegada (1 ou 0)
Max_Arrivals	Número máximo de entidades que pode ser criado (999999999 ou qualquer valor absurdamente elevado)
Class_A	Valor da classe A: 1 (usado como atributo das entidades de classe A, para as identificar)
Class_B	Valor da classe B: 2 (usado como atributo das entidades de classe B, para as identificar)
Total_WIP	Guarda o número de entidades em processamento (valor inicial zero)
Day_Class	Identifica a classe do dia
pointer	Usado como apontador incremental para contar os dias ao longo da simulação
Max_Pointer	Valor máximo do apontador incremental (92) – quando ultrapassado, o Modelo deixa de criar novas entidades

EXPRESSÕES

		Tabela	
Nome	Descrição	Linhas	Colunas
Wildfire_Length	Distribuições de probabilidade que determinam a duração do incêndio nascente	1	2
Reignition_Length	Distribuições de probabilidade que determinam a duração do reacendimento Exp. cB: LOGN(0.1096, 0.08878)	1	2
FA_Discovery_Length	Distribuições de probabilidade que determinam a duração do falso alerta – tempo necessário para o confirmar Exp. cB: LOGN(0.04278, 0.02336)	1	2
FFA_Discovery_Length	Distribuição de probabilidade que determina a duração de um falso "falso alarme" LOGN(0.06658, 0.06783)		

Expressões (continuação)		Tabela	
Nome	Descrição	Linhas	Colunas
IA_N_MAX_Length	Duração máxima do ataque inicial (incêndio nascente) Exp. cB: $k_{IA_N_MAX.Length(1,2)} * p_{IA_N_MAX.Length(1,2)}$	1	2
IA_R_MAX_Length	Duração máxima do ataque inicial (reacendimento) Exp. cB: $k_{IA_R_MAX.Length(1,2)} * p_{IA_R_MAX.Length(1,2)}$	1	2
r.IA	Recursos a enviar para o ataque inicial de um incêndio nascente Exp. cB: $k_{r.IA(1,2)} * p.r/100$	1	2
r.AA	Recursos adicionais, enviados para o ataque ampliado de um incêndio nascente Exp. cB: $k_{r.AA(1,2)} * p.r/100$	1	2
Reignition.r.IA	Recursos a enviar para o ataque inicial de um reacendimento Exp. cB: $k_{Reignition.r.IA(1,2)} * p.r/100$	1	2
Reignition.r.AA	Recursos adicionais, enviados para o ataque ampliado de um reacendimento Exp. cB: $k_{Reignition.r.AA(1,2)} * p.r/100$	1	2
FA.r	Recursos a enviar para um falso alerta Exp. cB: $k_{FA.r(1,2)} * p.r/100$	1	2
FFA.r	Recursos a enviar para um falso "falso alarme" $k_{FFA.r} * p.r/100$		
At	Duração do incêndio (calculada no fim) $ServiceTime + ReignitionServiceTime + Entity.WaitTime/1440$	Fórmulas de Cálculo	
Area_Stands	Área de povoamentos ardida em <i>ha</i> $(33.347*At - 3.4885) * (2-Class) + (8.059*At - 0.5723) * (Class-1)$		
Area_Forest	Área florestal ardida (povoamentos mais matos) em <i>ha</i> $(51.952*At*At - 26.234 * At + 3.6778)*(2-Class) + (-5.4198*At*At + 21.615*At - 1.7016)*(Class-1)$		
Losses_Products_Services_AFN	Perda de valor (€) em bens e serviços gerados nas áreas ardidas (AFN 2011f) $Area_Forest * Ha_Losses_Products_Services/1000$		
CO2_Emissions	Emissões de CO ₂ (Narayan et al. 2007) em toneladas $CO2_Factor_WildFire_Stands * Area_Stands + CO2_Factor_Prescribed_Fire * (Area_Forest - Area_Stands)$		
Timber_Products_Value_Losses	Perda de valor (€) dos Produtos Lenhosos (ISA 2005c) $Area_Stands * Ha_Losses_Timber_Products_Value$		
Non_Timber_Products_Value_Losses	Perda de valor (€) dos Produtos Não Lenhosos (ISA 2005c) $Area_Stands * Ha_Losses_Non_Timber_Products_Value$		
Recreational_Activities_Value_Losses	Perda de valor (€) das Actividades de Recreação (ISA 2005c) $Area_Forest * Ha_Losses_Recreational_Activities_Value$		
Indirect_Use_Value_Losses	Perda de valor (€) de Uso Indirecto (ISA 2005c) $Area_Forest * Ha_Losses_Indirect_Use_Value$		

Nota: "Exp. cB" significa que o exemplo dado, corresponde à classe B.



APÊNDICE B: Outras Parametrizações

Sem sermos exaustivos, seguem-se as restantes variações das “chegadas” e algumas das distribuições usadas.

CHEGADAS

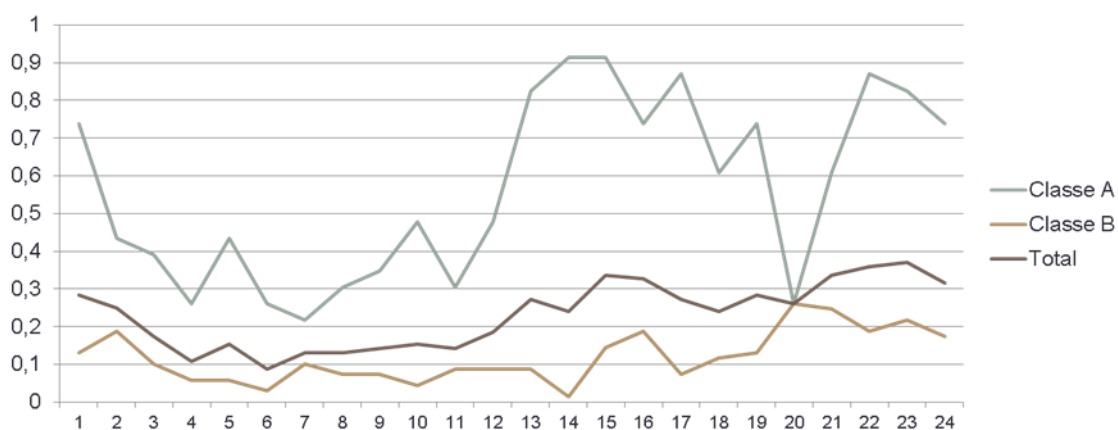


Gráfico 24 – Falsos Alertas, 2010, Fase Charlie, Porto



Gráfico 25 – Falsos "Falsos Alarmes", 2010, Fase Charlie, Porto

DURAÇÕES

Histogram Summary	
Histogram Range	0 to 1.56
Number of Intervals	40

Data Summary	
Number of Data Points	2119
Min Data Value	0.00625
Max Data Value	1.42
Sample Mean	0.09
Sample Std Dev	0.0993

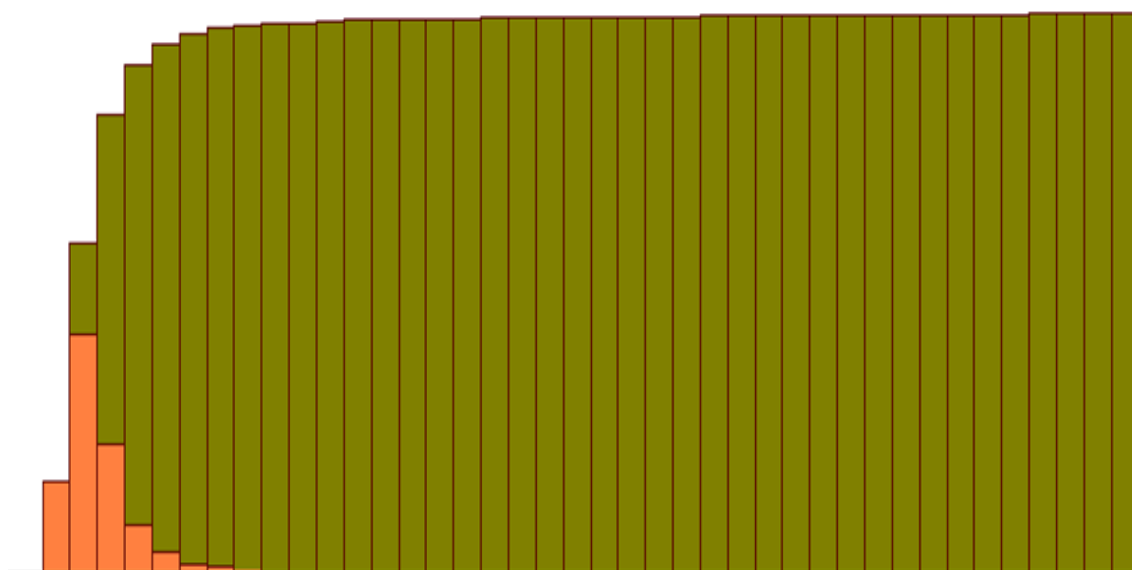


Ilustração 12 – Novos Incêndios: Classe B, FDP e distribuição empírica (@Arena)

Lognormal [#36]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	162				
Statistic	0.06831				
P-Value	0.41773				
Rank	14				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	0.0843	0.09609	0.10669	0.11927	0.12799
Reject?	No	No	No	No	No
Anderson-Darling					
Sample Size	162				
Statistic	0.91659				
Rank	14				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	1.3749	1.9286	2.5018	3.2892	3.9074
Reject?	No	No	No	No	No
Chi-Squared					
Deg. of freedom	7				
Statistic	9.7413				
P-Value	0.20372				
Rank	15				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	9.8032	12.017	14.067	16.622	18.475
Reject?	No	No	No	No	No

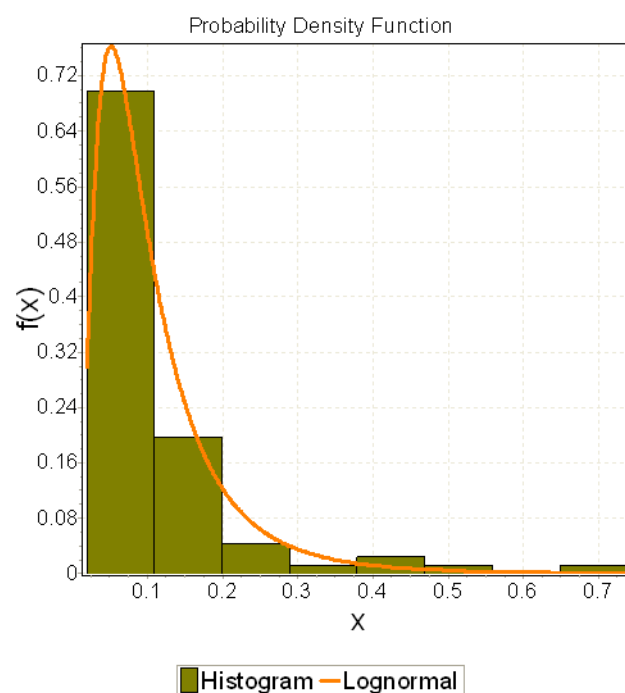


Ilustração 13 – Recendimentos: Classe B, $\sigma=0.71031$, $\mu=-2.4632$, LOGN(0.1096,0.08878)

Lognormal [#37]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	257				
Statistic	0.04017				
P-Value	0.78571				
Rank	12				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	0.06693	0.07629	0.08471	0.09469	0.10161
Reject?	No	No	No	No	No
Anderson-Darling					
Sample Size	257				
Statistic	0.27938				
Rank	8				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	1.3749	1.9286	2.5018	3.2892	3.9074
Reject?	No	No	No	No	No
Chi-Squared					
Deg. of freedom	8				
Statistic	10.343				
P-Value	0.24179				
Rank	15				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	11.03	13.362	15.507	18.168	20.09
Reject?	No	No	No	No	No

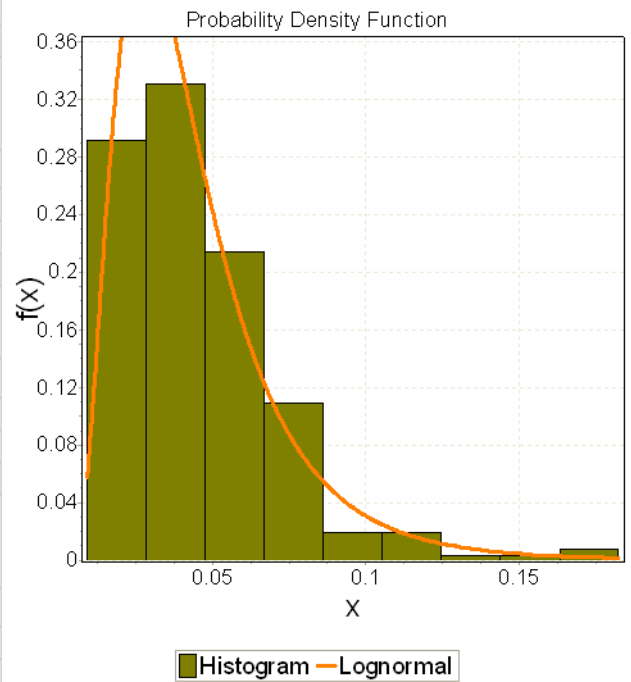


Ilustração 14 – Falsos Alertas: Classe A, $\sigma=0.56161$, $\mu=-3.2709$, LOGN(0.04446,0.02707)

Lognormal [#37]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	174				
Statistic	0.0555				
P-Value	0.63675				
Rank	10				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	0.08134	0.09272	0.10295	0.11508	0.12349
Reject?	No	No	No	No	No
Anderson-Darling					
Sample Size	174				
Statistic	0.67401				
Rank	13				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	1.3749	1.9286	2.5018	3.2892	3.9074
Reject?	No	No	No	No	No
Chi-Squared					
Deg. of freedom	7				
Statistic	3.2666				
P-Value	0.85929				
Rank	12				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	9.8032	12.017	14.067	16.622	18.475
Reject?	No	No	No	No	No

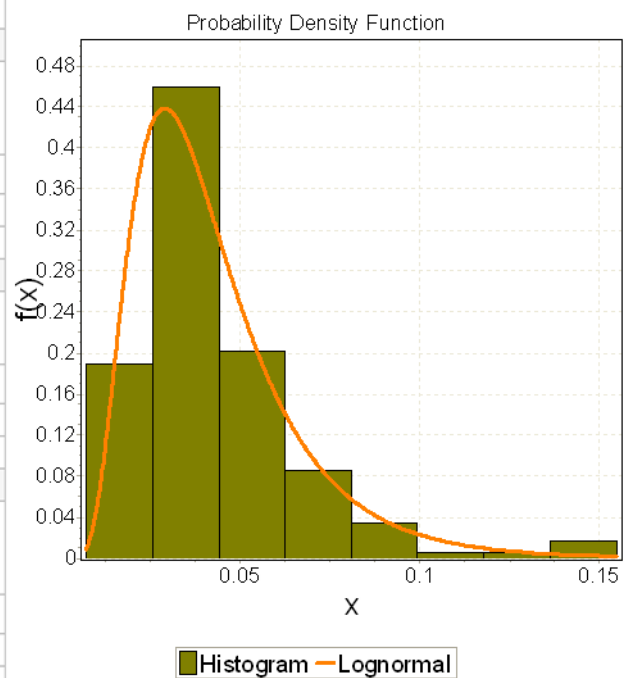


Ilustração 15 – Falsos Alertas: Classe B, $\sigma=0.51079$, $\mu=-3.2822$, LOGN(0.04278,0.02336)

APÊNDICE C: Dados Suplementares

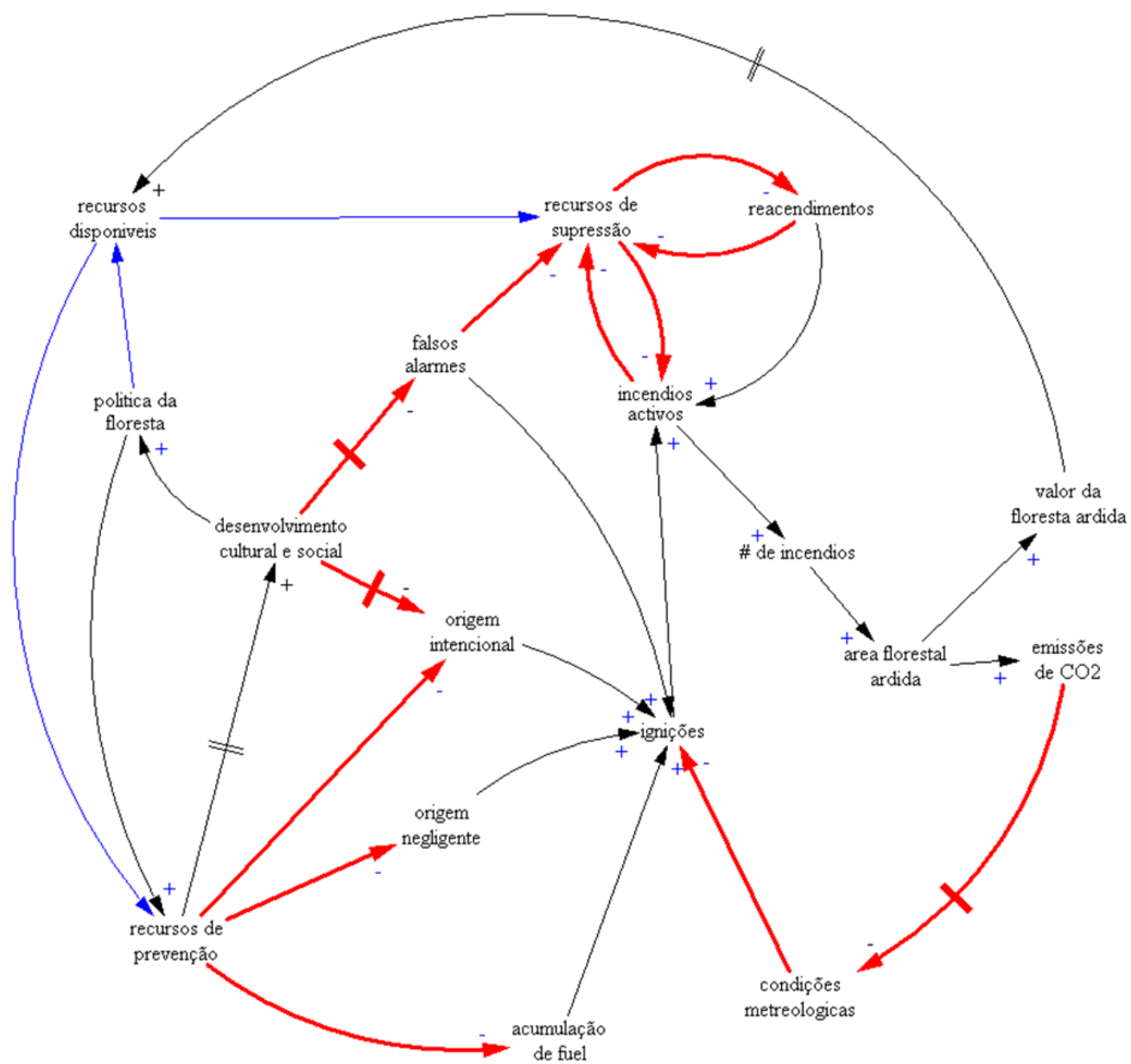


Ilustração 16 – A Dinâmica global dos Sistemas Florestais.

Tabela 6: Número de ocorrências e área ardida ao longo do último decênio (EP).

Ano	Nº de Incêndios Florestais				Área Ardida em Incêndios Florestais (ha)		
	Total	≤ 1ha	>1ha e ≤100ha	> 100ha	Área Total	Área Média	Maior Incêndio
2001	26.947	74,4%	25,0%	171	112.235	4,17	3.273
2002	26.576	75,5%	23,7%	214	124.473	4,68	4.847
2003	26.219	79,7%	19,3%	251	425.778	16,24	21.897
2004	22.165	77,1%	22,1%	164	130.057	5,87	12.807
2005	35.824	77,1%	21,7%	417	339.072	9,46	11.707
2006	20.444	82,9%	16,5%	125	76.050	3,72	5.590
2007	20.316	81,9%	17,9%	35	32.520	1,60	2.505
2008	14.930	82,6%	17,2%	18	17.463	1,17	622
2009	26.136	77,6%	21,9%	129	86.817	3,32	7.080
2010	22.026	82,0%	17,2%	180	132.241	6,00	5.066
Minímo	14.930	74%	17%	18	17.463	1,17	622
Média	24.158	79%	20%	170,4	147.671	5,62	7.539
Máximo	35.824	83%	25%	417	425.778	16,24	21.897

Tabela 7: Variação da Percentagem de FA na Nova Zelândia, EP a partir de (Tu 2002)

			Falsos Alarmes			Oscilação dos FA (no total de ocorrências)	
Região	Bem Intencionados	Maliciosos	FA	FAA*	M/FA	MIN	MAX
R1	2%	7%	9%	91%	78%	3,3%	3,7%
R2	4%	9%	13%	87%	69%	4,7%	5,4%
R3	3%	8%	11%	89%	73%	4,0%	4,5%
R4	8%	11%	19%	81%	58%	6,9%	7,8%
R5	6%	9%	15%	85%	60%	5,5%	6,2%
R6	3%	8%	11%	89%	73%	4,0%	4,5%
R7	5%	7%	12%	88%	58%	4,4%	4,9%
R8	3%	11%	14%	86%	79%	5,1%	5,8%
Variação de Falsos Alarmes (1995-2000)		Mínimo	9%	81%	58%	3,3%	3,7%
		Média	12,6%	86,3%	67,2%	4,6%	5,4%
		Máximo	19%	91%	79%	6,9%	7,8%
MAX	41,20%						
MIN	36,40%						

* Falsos alarmes com origem em deficiências de funcionamento de sistemas de alarme automáticos ou disparos causados por operação (manual) accidental.

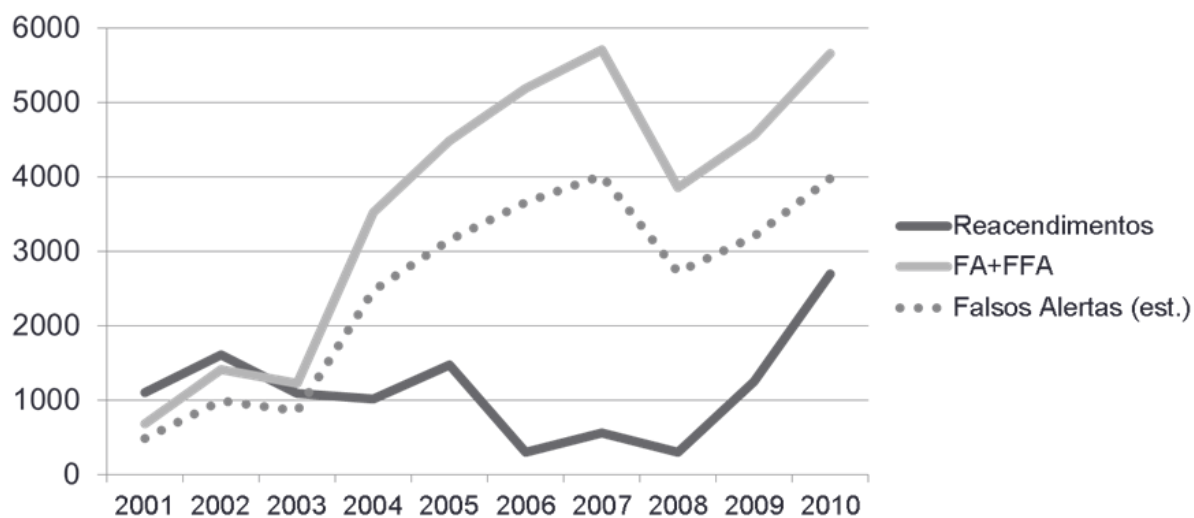


Gráfico 26 – Evolução do número absoluto de FA e RCD ao longo da última década.

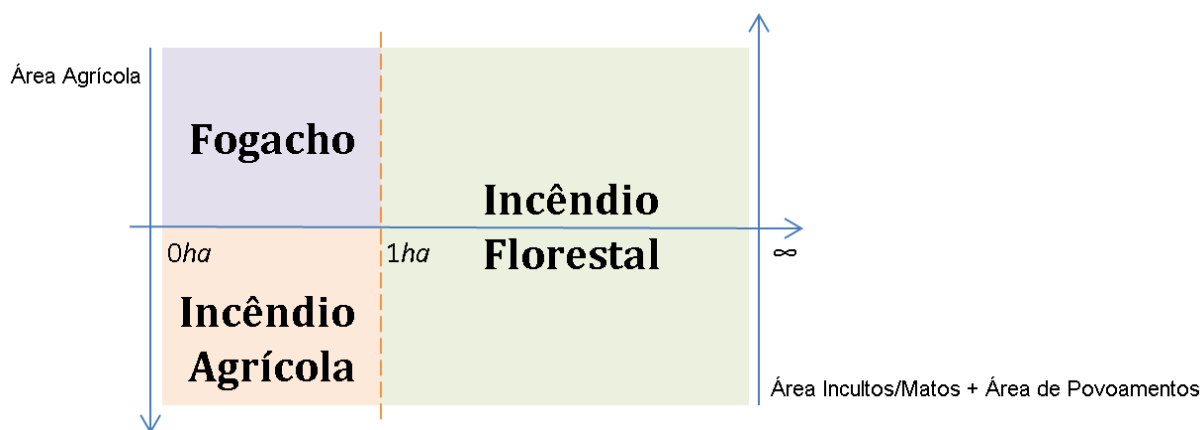


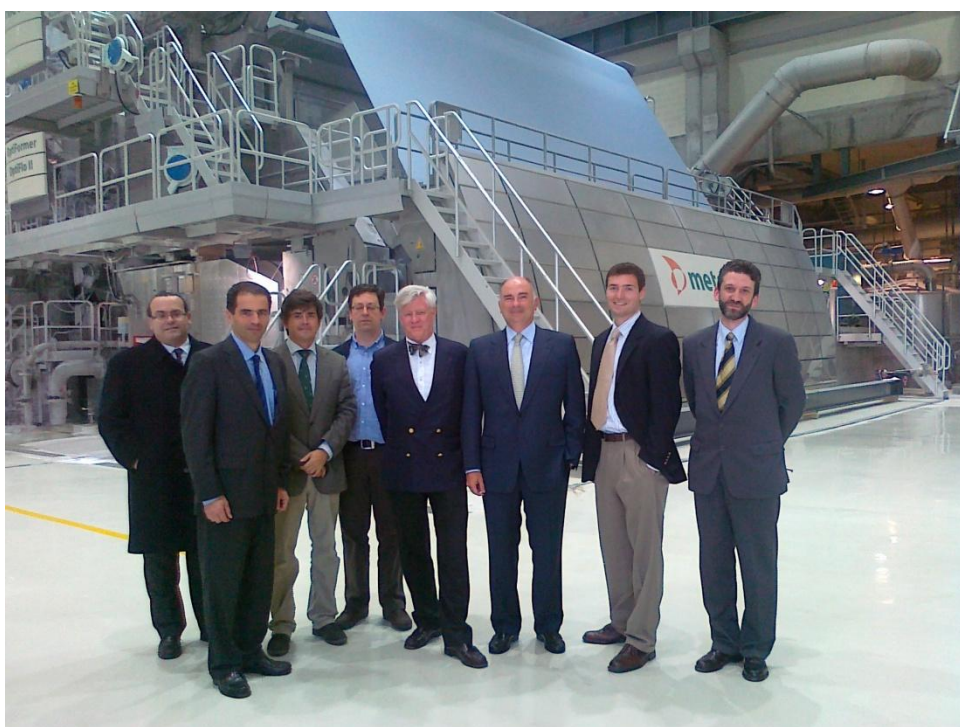
Ilustração 17 – Representação de três das quatro categorias de fogo florestal (ver glossário).

APÊNDICE D: Entidades Contactadas e Lista de Entrevistas**ENTREVISTAS GRAVADAS COM AUTORIZAÇÃO DE REPRODUÇÃO**

Data	Local	Empresa	Entrevistado
2011-04-14	Figueira da Foz	AFOCELCA	Orlando Ormazabal (director)
2011-04-14	Figueira da Foz	AFOCELCA	Filipe António Monteiro Santos
2011-04-14	Figueira da Foz	SFera Florestal	João Pedro Costa
2011-04-14	Figueira da Foz	SFera Florestal	João Carlos Curado Bandeirinha (director)
2011-04-15	Lisboa	AFN (UDF)	Rui Manuel Lopes da Cunha Almeida (director)
2011-04-15	Lisboa	grupo Portucel Soporcel	Tiago Martins de Oliveira (director)
2011-04-15	Lisboa	grupo Portucel Soporcel	António José Colaço Virtudes
2011-04-18	Porto	SFera Florestal	André Filipe Pais da Silva
2011-05-20	Porto	CDOS Porto	Coronel Teixeira Leite (CODIS)
2011-05-26	Porto	CDOS Porto	Dr. Alberto Costa (2º Comandante)

SAÍDAS DE CAMPO E OUTRAS REUNIÕES

Data	Local	Empresa	Actividade
2011-03-20	Amarante	grupo Portucel Soporcel	Visita a Povoamentos
2011-03-20	Valongo	grupo Portucel Soporcel	Visita a Povoamentos
2011-03-24	Setúbal	ISA, UTAD, MIT	Reuniões do projecto FIRE ENGINE
2011-03-25	Setúbal	ISA, UTAD, MIT	Reuniões do projecto FIRE ENGINE
2011-03-25	Setúbal	grupo Portucel Soporcel	Visita à nova fábrica
2011-04-15	Lisboa	CDOS Lisboa	Reunião informal
2011-04-18	Porto	CDOS Porto	Reunião informal
2011-06-16	Lisboa	CAP	Reunião informal
2011-06-16	Lisboa	GIPS	Reunião informal

**Ilustração 18 – Visita à nova fábrica de papel do gPS (Setúbal)**

ANEXO A: Informação Complementar

Colocamos neste anexo alguma da informação que embora se encontre nas referências, quisemos destacar de uma forma explícita.

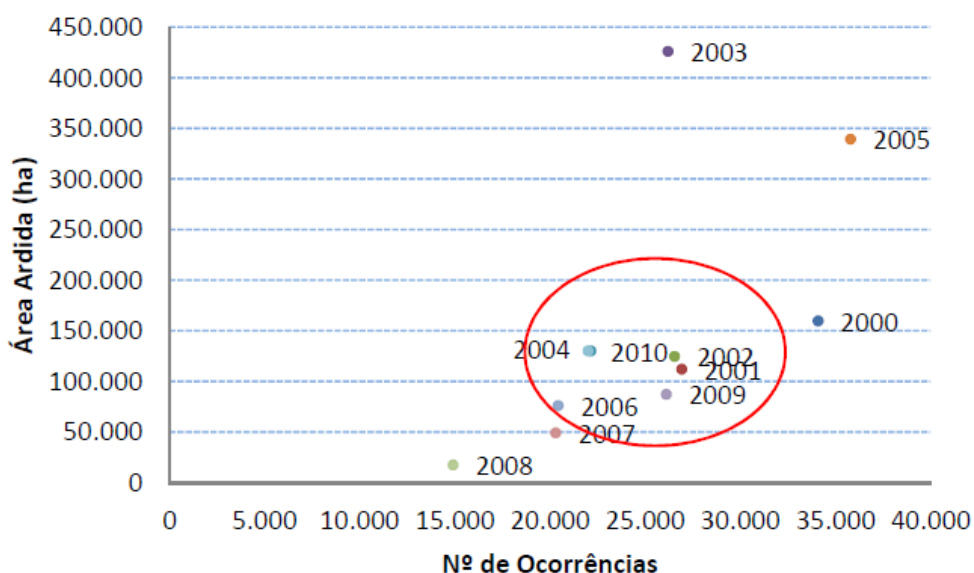


Gráfico 27 – Distribuição anual do número de ocorrências e área ardida (AFN 2011f)

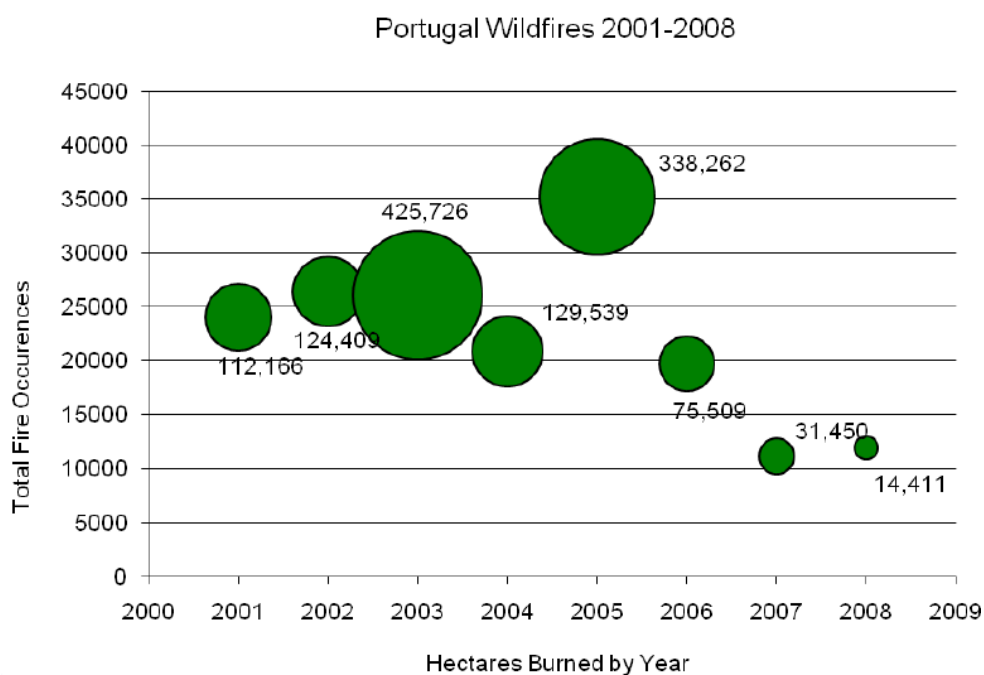


Gráfico 28 – Fire Occurrence & Burned Area in Portugal (Beighley and Hyde 2009)

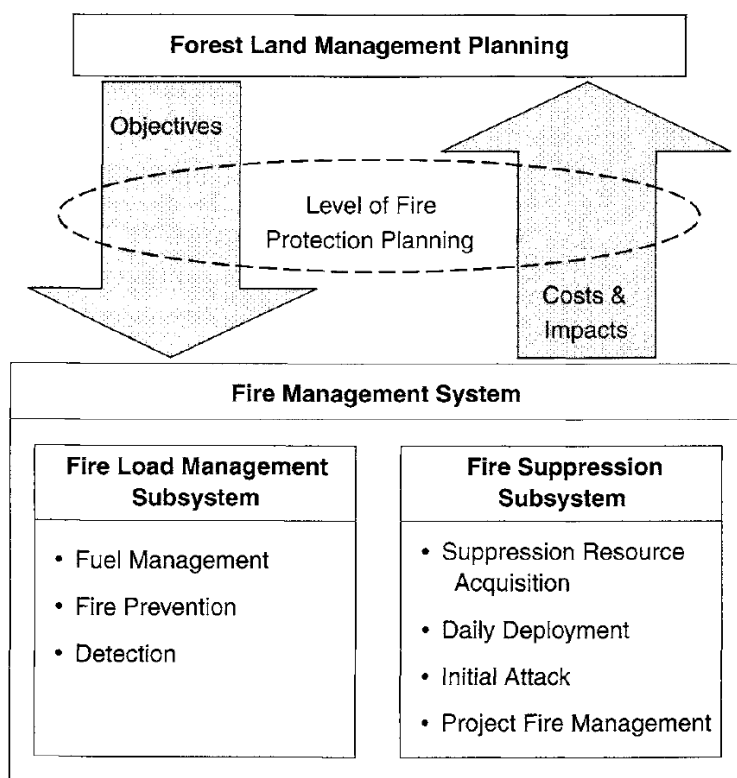


Ilustração 19 – A framework de Martell.

Onde o Martell evidencia a relação entre o sistema de gestão de incêndios florestais e a gestão do planejamento dos espaços florestais (Martell 2001); um refinamento da *framework* apresentada em Martell (1999).

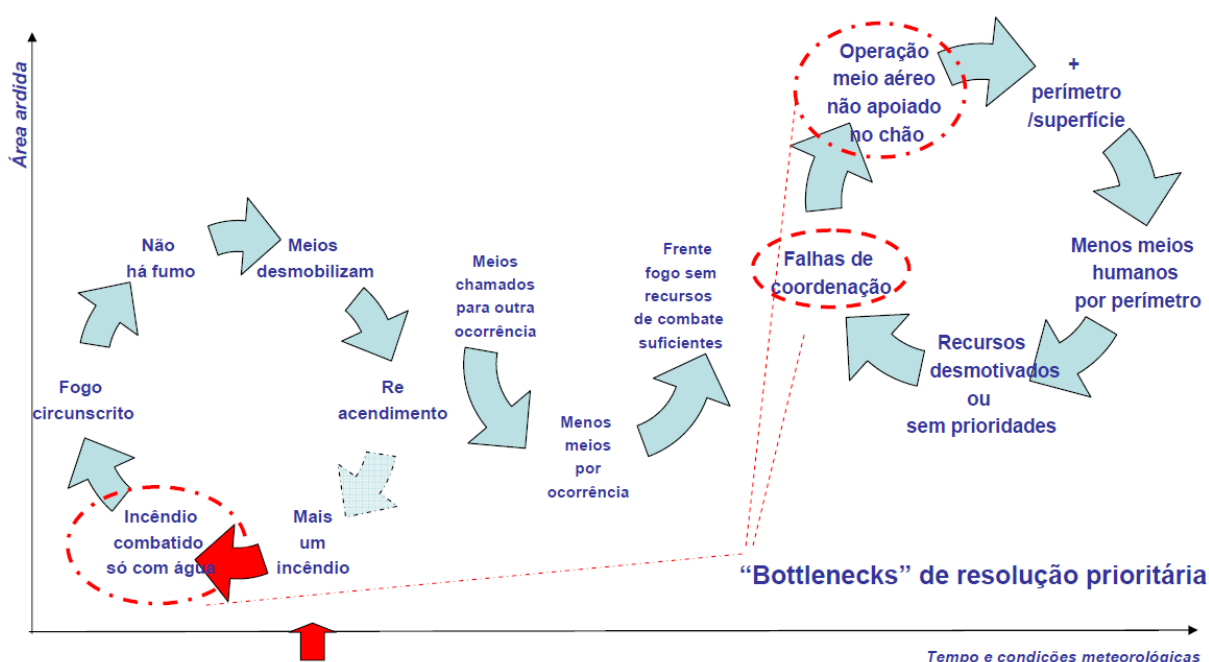


Ilustração 20 – Uma proposta de Oliveira (2011).

«A dinâmica do ciclo vicioso do combate e as oportunidades para o quebrar».

Salientamos a seguir, a evolução do número médio de ocorrências e da área ardida, em dias meteorologicamente semelhantes, entre 2000 e 2010 (AFN 2011f).

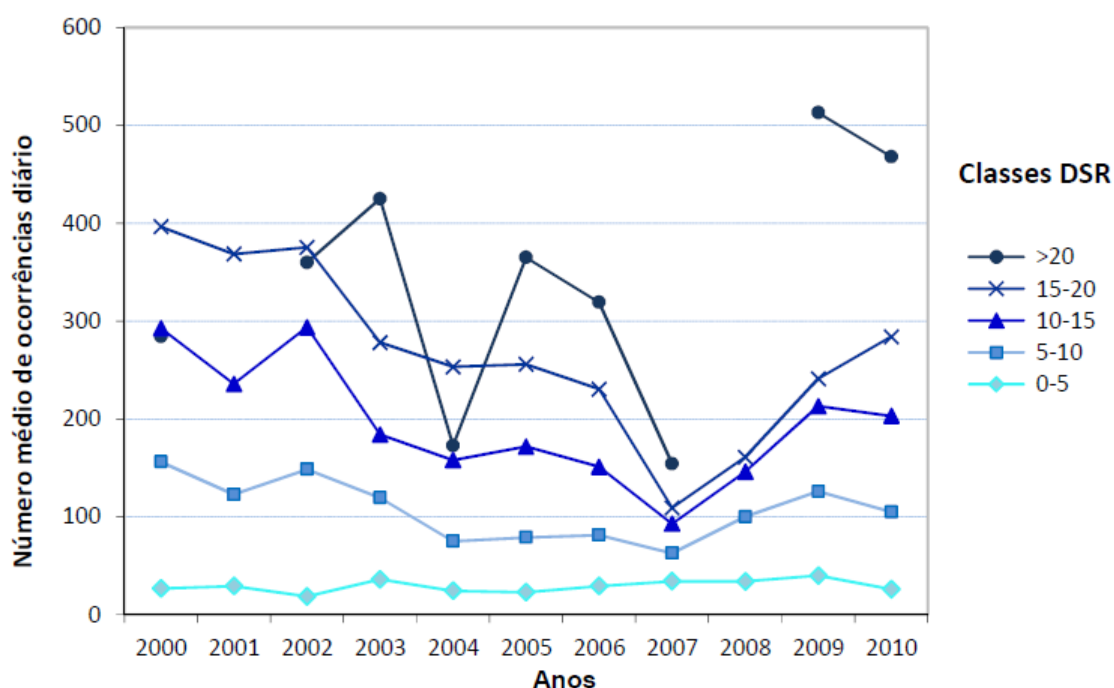


Gráfico 29 – Número médio de ocorrências em dias meteorologicamente semelhantes.

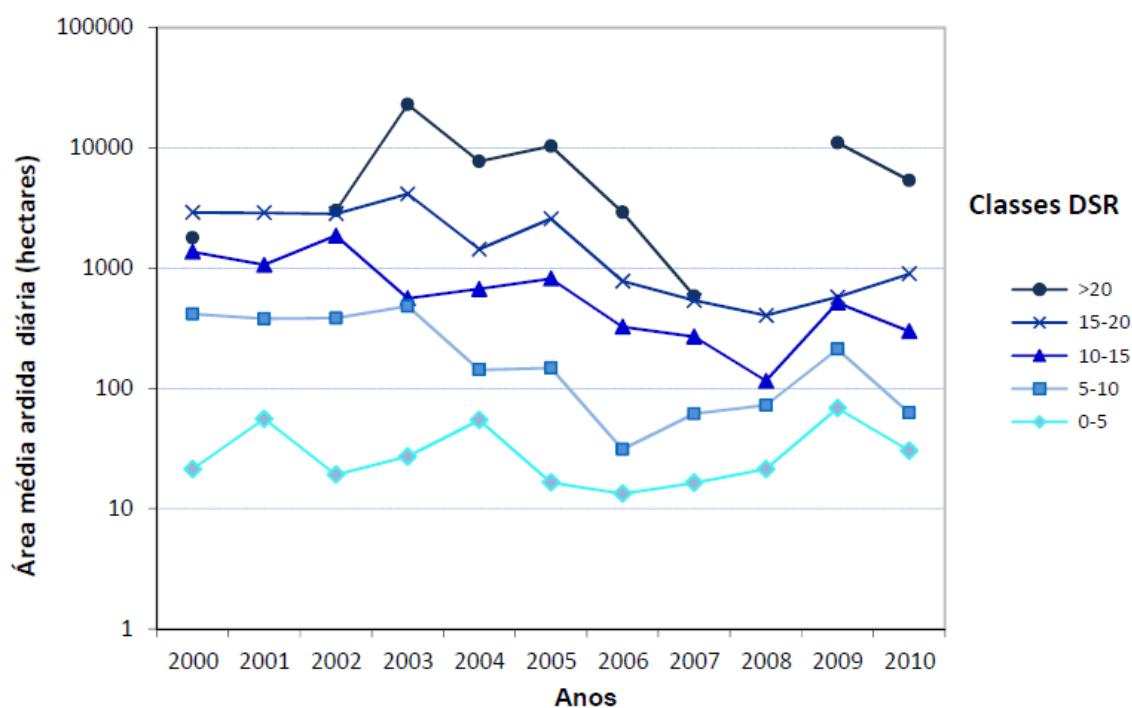


Gráfico 30 – Área ardida em dias meteorologicamente semelhantes.

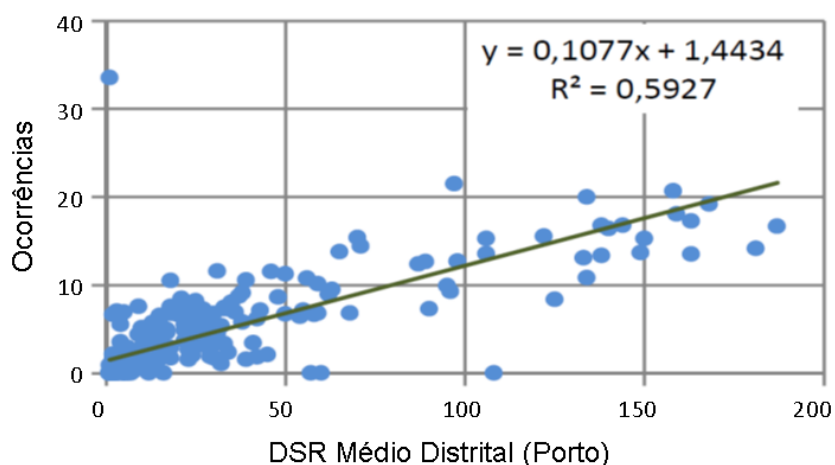


Gráfico 31 – Correlação DSR Médio/Ocorrências, Porto 2010 (AFN 2011f)

Tabela 8: Causas¹ dos incêndios florestais² investigados pela GNR em 2010 (AFN 2011f)

Causa	Nº Ocorrências	%
Uso do Fogo	2.969	22%
Fogueiras	24	0%
Fumar	152	1%
Lançamento de Foguetes	41	0%
Queima de lixo	296	2%
Queimadas	2.444	18%
Outros	12	0%
Acidentais	625	5%
Maquinaria e equipamento	74	1%
Transporte e comunicações	110	1%
Outros	441	3%
Estruturais	143	1%
Caça e vida selvagem	92	1%
Uso do solo	26	0%
Outras	25	0%
Incendiarismo	3.243	24%
Imputáveis	2.977	22%
Inimputáveis	19	0%
Sem motivação conhecida	247	2%
Naturais	143	1%
Indeterminadas	6.392	47%
TOTAL	13.515	100%

¹ A codificação e definição das categorias das causas pode ser encontrada em (AFN 2010e).

² Foram investigados 61% dos incêndios florestais e estes valores e percentagens dizem respeito à quantidade (#) de ocorrências, não à área ardida.

ANEXO B: Conceitos mais usados

Estes conceitos foram essencialmente compilados a partir de (AFN 2011f; ISA 2005e).

AFOCELCA	Agrupamento Complementar de Empresas para a Protecção contra Incêndios (grupo Portucel Soporcel e do grupo ALTRI).
Área Florestal	Área que se encontra arborizada ou inculta. Área que apresenta povoamentos florestais, área com uso silvo-pastoril, área ardida de povoamentos florestais, área de corte raso, ou outras áreas arborizadas e incultos.
Área inculta	Toda a área que sendo susceptível de utilização agrícola, não é objecto de qualquer tipo de aproveitamento cultural há mais de 6 anos.
Carga de combustível	Peso seco do combustível presente por unidade de área em dado local, geralmente expresso como <i>ton/ha</i> .
Central 112	Central de comunicações destinada à recepção e ao encaminhamento de chamadas de socorro efectuadas através do número europeu de emergência – 112.
Central 117	Central de comunicações destinada à recepção e ao encaminhamento de chamadas de alerta de incêndios florestais.
Combate estendido	Acção de supressão que se estende para além da primeira intervenção. Implica que o nível de complexidade da ocorrência vai aumentar para além das capacidades do comando de primeira intervenção.
Combustível	Matéria que arde ou pode ser consumida pelo fogo.
Combustível florestal	Material vegetal, existente na floresta susceptível de arder.
Contra-fogo	Técnica que consiste em queimar vegetação, contra o vento, num local para onde se dirige o incêndio, destinando-se a diminuir a sua intensidade, facilitando o seu domínio e extinção.
DSR	Índice Meteorológico de Severidade Diário (<i>Daily Severity Rating</i>), calculado a partir do FWI ($DSR=0,0272FWI^{1,77}$), pretende representar a dificuldade de controlo de um incêndio florestal, estando directamente associado ao esforço necessário para suprimir um incêndio
Ecosistema	Unidade ecológica básica, constituída pelo ambiente vivo de organismos animais e vegetais que interactuam como uma única entidade de funcionamento.
Equipa de sapadores florestais	Equipa constituído no mínimo por 5 elementos efectivos e que dispõe de equipamento, individual e colectivo, para o exercício das suas funções. Desenvolvem actividades de silvicultura preventiva, beneficiação de caminhos, vigilância, primeira intervenção, rescaldo e sensibilização.
Falso "Falso Alarme"	Ocorrência que origina a mobilização de meios materiais e/ou humanos destinados ao combate aos fogos florestais, mas na sequência da qual se verifica tratar de um incêndio não florestal.
Falso Alarme	Ocorrência que origina a mobilização de meios materiais e/ou humanos destinados ao combate aos fogos florestais, mas na sequência da qual se verifica tratar de um "Falso Alerta" (FA) ou de um incêndio não florestal (FFA).
Falso Alerta	Ocorrência que origina a mobilização de meios materiais e/ou humanos, dos bombeiros, mas na sequência da qual não é detectada, no local, qualquer área ardida nem vestígios de foco de incêndio.
Fase Charlie	Ver "Período crítico".
Floresta	Terreno com uma cobertura de copas de mais de 10% e uma área maior a 0,5 <i>ha</i> . As árvores devem atingir uma altura mínima de 5 m na idade adulta.
Fogacho	Incêndio cuja área total ardida é inferior a 1 hectare.
Fogo controlado	Ferramenta de gestão de espaços florestais que consiste no uso do fogo sob condições, normas e procedimentos conducentes à satisfação de objectivos específicos e quantificáveis e que é executada sob a responsabilidade de técnico credenciado, segundo os termos da legislação vigente.

Funções do sapedador florestal	Acções de silvicultura preventiva, nomeadamente roça de matos e limpeza de povoamentos, realização de fogos controlados, manutenção e beneficiação da rede divisional, linhas corta-fogo e outras estruturas, vigilância das áreas a que se encontra adstrito, apoio ao combate e subsequentes acções de rescaldo e sensibilização do público.
FWI	Índice Meteorológico de Perigo de Incêndio do Sistema Canadiano FWI (<i>Fire Weather Index</i>)
Gestão de fogo	Conjunto de actividades relacionadas com o fogo, com destaque para a prevenção dos incêndios florestais, o uso do fogo e a sua supressão. A vigilância ou patrulhamento, a detecção dos incêndios e a fiscalização da lei são áreas específicas de apoio à gestão do fogo.
Gestão dos combustíveis florestais (<i>fuel management</i>)	Conjunto de actos ou práticas de controlo sobre os combustíveis florestais, controlando-os através de ferramentas mecânicas, químicas, biológicas ou manuais e também através dos fogos controlados, de forma a apoiar a gestão e ordenamento do território, fazendo diminuir tanto o número de incêndios como a sua severidade.
Gestão florestal	A arte e ciência da tomada de decisões respeitantes à organização, uso e conservação da floresta.
Grupo "Fogos Florestais"	Inclui quatro tipologias: Queimada - Incêndio autorizado ou não com o objectivo de queima de combustíveis, feita de forma extensiva; Fogacho - Incêndio onde a área ardida é inferior a 1 ha e a área agrícola é inferior à área de Incultos/Matos + área Povoamento; Incêndio Florestal - Incêndio onde a área Inc./Matos + área Povoamento $\geq 1ha$; Incêndio Agrícola - Incêndio onde a área Incultos./Matos + área Povoamento $< 1 ha$ e a área agrícola $>$ área Incultos/Matos + área Povoamento.
Grupo de combate (GC)	Unidade operacional base, chefiado por um graduado, integrando até cinco grupos de intervenção.
Ignição	Aparecimento da primeira chama, após a absorção da energia de activação pelo material combustível.
Improdutivo	Terreno estéril do ponto de vista da existência de comunidades vegetais ou com capacidade de crescimento extremamente limitada, quer em resultado de limitações naturais, quer em resultado de acções antropogénicas (ex.: afloramentos rochosos, praias, pedreiras, lixeiras).
Incêndio	Combustão não limitada no tempo nem no espaço
Incêndio circunscrito	Incêndio que atingiu uma fase que não vai ultrapassar a área já afectada.
Incêndio dominado	Incêndio que atingiu uma fase em que a chama já não afecta os combustíveis vizinhos nos mecanismos de transmissão de calor (não há propagação, não existem grandes chamas).
Incêndio extinto	Incêndio que atingiu uma fase onde já não existem chamas, mas apenas pequenos focos de combustão (brasas).
Incêndio Florestal (<i>wildfire or forest fire</i>)	Qualquer incêndio, que decorra em espaços florestais (arborizado ou não arborizado), não planeado e não controlado e que independentemente da fonte de ignição requer acções de supressão.
Incêndio nascente	Incêndio que eclodiu há pouco tempo em outros locais, fora daquele teatro de operações.
Incêndio urbano e industrial	Incêndio que tenha lugar em qualquer tipo de edificação ou em instalações industriais.
Inculto	Áreas ocupadas por matos e pastagens espontâneas. Inclui: pousios agrícolas, pastagens espontâneas e terrenos abandonados.

Matos	Terreno coberto com lenhosas ou herbáceas de porte arbustivo de origem natural, que não tem utilização agrícola nem está arborizado, podendo, contudo, apresentar alguma vegetação de porte arbóreo mas cujo grau de coberto seja inferior a 10%
Ocorrência	Incêndio, queimada ou falso alarme que origina a mobilização de meios dos bombeiros.
Ocupação de solo	Identifica a cobertura física ou biológica do solo.
Operação silvícola mínima	Intervenção tendente a impedir que se elevem a níveis críticos o risco de ocorrência de incêndio, bem como aquelas que visem impedir a disseminação de pragas e doenças. Intervenção de valorização do material lenhoso e de outros produtos florestais.
Período crítico	De 1 de Julho a 30 de Setembro, durante o qual vigoram medidas especiais de prevenção contra incêndios florestais, por força de circunstâncias meteorológicas excepcionais, este período pode ser alterado por portaria do Ministro da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas. Coincide geralmente com a fase Charlie.
Planeamento do Fogo controlado	Planeamento que comporta dois níveis, com diferentes escalas territoriais e temporais: - Plano de fogo controlado: programação da aplicação da técnica em função da adequação a diferentes ecossistemas florestais e da evolução do coberto florestal e respectivo padrão espacial, correspondendo-lhe um horizonte anual e plurianual e âmbito de uma unidade de gestão; - Plano operacional de queima - adopção do plano de cada acção de uso da técnica em parcelas determinadas e subordinada às condições meteorológicas do momento.
Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios	Plano sectorial, plurianual de cariz interministerial, onde estão preconizadas a política e as medidas para a prevenção e protecção da floresta contra incêndios.
Povoamento florestal	Área ocupada com árvores florestais com um grau de coberto no mínimo de 10%, que ocupam uma área no mínimo de 0,5ha e largura não inferior a 20 metros. As árvores devem atingir na maturidade uma altura mínima de 5 metros. Inclui: os povoamentos naturais jovens e plantações, que no futuro atingirão uma densidade de pelo menos 10% de coberto e uma altura superior a 5 metros; os pomares de sementes e viveiros florestais; os quebra-ventos e as cortinas de abrigo desde que respeitem os critérios estabelecidos pela classe de uso florestal.
Pré-Supressão	Conjunto das actividades que têm como objectivo a promoção da eficácia das medidas de extinção através da infra-estruturação do território e prontidão dos meios operacionais.
Prevenção (sentido estrito)	Conjunto de actividades (ordenamento florestal, gestão florestal, gestão de combustíveis e sensibilização) que têm por objectivo reduzir ou anular a probabilidade de ocorrência e a intensidade de incêndios.
Prevenção (sentido lato)	Conjunto de actividades (ordenamento florestal, gestão florestal, criação e manutenção de infra-estruturas, sensibilização, vigilância, detecção e alarme) que têm por objectivo reduzir ou anular a probabilidade de ocorrência e a intensidade de incêndios
Primeira intervenção	Acção de combate a um incêndio nascente desenvolvida pelos primeiros meios a chegar ao local de eclosão.
Queima	Uso do fogo para eliminar sobrantes de exploração (DL 124/2006, de 28 de Junho, Artigo 3.º) cortados e amontoados.
Queima extensiva	Queimada, propriamente dita quando é lançado fogo aos combustíveis.
Queima intensiva	Queimada, (borralheira) quando o combustível, depois de cortado e amontoado é queimado.

Queimada	Uso do fogo para a renovação de pastagens e eliminação de restolho. (DL 124/2006, de 28 de Junho, Artigo 3.º)
Queimada rural	Fogo em área rural que está ser controlado por uma ou mais pessoas, independentemente da sua dimensão ou intensidade. Pode ser intensiva (borralheira) quando o combustível, depois de cortado e amontoado, é queimado e extensiva (queimada, propriamente dita) quando é lançado fogo aos combustíveis.
Reacendimento	Reactivamento de um incêndio, depois de este ter sido considerado extinto. A fonte de calor é proveniente do incêndio inicial. Um reacendimento é considerado parte integrante do incêndio principal (a primeira ignição observada não depende de qualquer outra área percorrida por um incêndio)
Rescaldo	Operação técnica que visa a extinção do incêndio.
Sistema de Gestão Florestal	Conjunto de princípios orientadores da gestão da unidade florestal que inclui estrutura organizacional, actividades de planeamento, responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos para desenvolver, implementar, alcançar, rever e manter a política florestal.
Sobrantes de Exploração	Material lenhoso e outro material florestal resultante de actividades agro-florestais.
Supressão	Acção concreta e objectiva destinada a extinguir um incêndio, incluindo a garantia de que não ocorrem reacendimentos.
Teatro de operações	Área onde se desenvolvem as operações de socorro relativas a uma ocorrência.
Triângulo do fogo	Três elementos que, em conjunto, permitem a ignição de uma combustão: combustível, comburente e energia de activação.
Vestígio	Sinal de uma coisa que sucedeu, restos. Factos materiais relacionados com a origem do incêndio.
Vigilância após rescaldo	Operação que se realiza após o rescaldo de grandes incêndios destinada a garantir que não surgem reacendimentos.